2/4

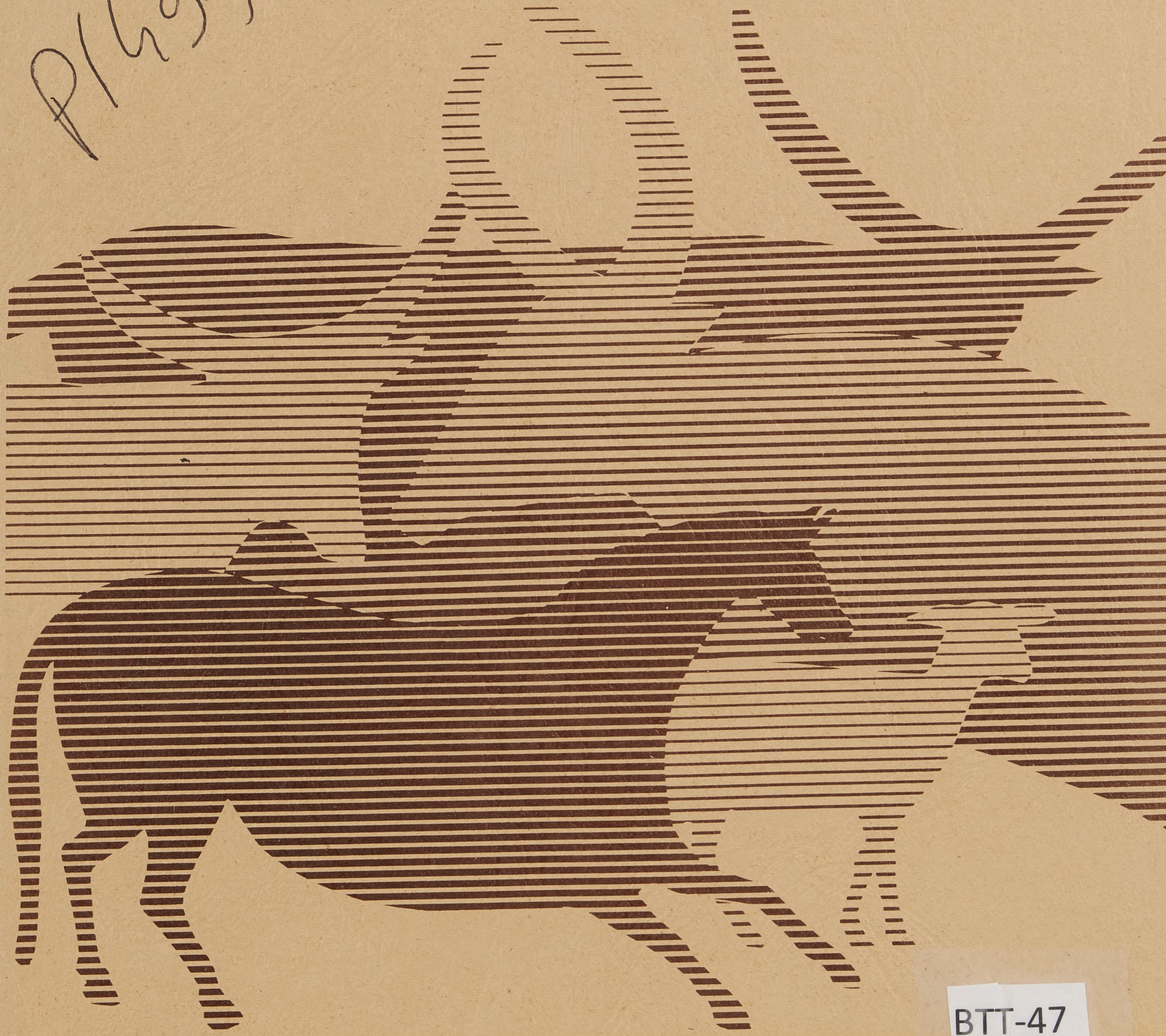
inra

N. E
E DE DOC NTATION
- 4. FEV 1982
UNITE Cen RALE DE RECH. VET.

CENTRE DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES

ET VETERINAIRES DE THEIX

P/497



ISSN 0395-7519

BTT-47

BULLETIN TECHNIQUE

N°46 - DECEMBRE 1981

trimestriel

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

CENTRE DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES

ET VETERINAIRES DE THEIX

BULLETIN TECHNIQUE

N°46 - DECEMBRE 1981

C.R.Z.V. de Theix _ 63110 BEAUMONT _ Tel. (73) 92.42.63

N'OUBLIEZ PAS

VOTRE

AU SOMMAIRE DU N°47
(*en principe*)

- Utilisation des drèches de brasserie par les vaches laitières.
- Valeur alimentaire des protéagineux plantes entières.
- Résultats économiques 1980 pour un groupe d'élevages charolais nivernais.
- Vème Symposium international sur la physiologie des ruminants (suite et fin)
- Comment obtenir des veaux vigoureux ?
- Utilisation du blé dur par l'agneau à l'engrais.
- La couleur de la viande et sa mesure.

Le numéro 48 - Juin 1982 - sera consacré aux résultats acquis depuis 10 ans sur les différents types de production en race bovine Limousine.

REABONNEMENT

POUR 1982

(indications au verso)

Si vous changez d'adresse

pensez à nous en informer rapidement nous pourrons ainsi continuer à vous servir notre bulletin technique sans interruption et dans les meilleures conditions.

ABONNEMENT POUR L'ANNEE 1982*

90,00 F T.T.C.

REMARQUE IMPORTANTE :

Pour des raisons administratives, la gestion du Bulletin Technique sera désormais assurée par le Service des Publications de l'INRA. De ce fait, vous voudrez bien adresser votre courrier relatif aux abonnements à l'adresse suivante :

SERVICE DES PUBLICATIONS DE L'I.N.R.A.
Route de St-Cyr - 78000 VERSAILLES

NOM ou RAISON SOCIALE de l'organisme payeur :

Nombre d'abonnements demandés :

DESTINATAIRE (S)

Nom ou Raison Sociale — Rue et n° — Code postal et ville

.....

.....

.....

.....

. Fourniture éventuelle des collections des années antérieures (1) (4 numéros par an)

1971-1972-1973-1974-1975-1976-1977 : 50,00 F TTC par année commandée

1978 - 1979 : 65,00 F TTC par année commandée

1980 - 1981 : 75,00 F TTC par année commandée

. Paiement : chèque bancaire ou postal établi à l'ordre de :
REGISSEUR DES PUBLICATIONS - CCP PARIS 9064-43 V

. Facturation : Désirez-vous une facture ?

OUI - NON

Date :

Nom (ou cachet) et signature du demandeur

(1) Préciser l'année ou les années.

* *A RETOURNER A : SERVICE DES PUBLICATIONS DE L'INRA - Route de St-Cyr - 78000 VERSAILLES*

Sommaire

M. Journet — Création de la Station de Recherches sur la Vache laitière à Rennes..... 5

R. Goutefongea — Création du Laboratoire des Aliments d'Origine Animale au Centre de Recherches Agro-Alimentaires de Nantes..... 9

J. Barnouin - M. Brochart — L'enquête Eco-Pathologique Continue : 1. Une nouvelle méthode de travail en pathologie chez les ruminants..... 11

R. Guilhermet, R. Giovanni, J.L. Troccon avec la collaboration de **C. de Lamotte, P. de Saint Jan, G. Abelard** — Utilisation du pois protéagineux en remplacement du tourteau de soja dans les aliments concentrés pour veau d'élevage 15

C. Demigne, C. Remesy, F. Chartier et G. Garpihan avec la collaboration de **P. Lamby et C. Besson** Intérêt de l'utilisation de réhydratants par voie orale et veineuse dans le traitement des diarrhées néonatales..... 21

J.P. Andrieu, F. Gaillard, J.P. Dulphy — L'ensilage d'herbe mi-fané en balles rondes, utilisation par des génisses laitières de 1 an..... 31

J.P. Andrieu, J.P. Dulphy — Etude de l'effet conservateur de la pulpe déshydratée mélassée de betterave dans un ensilage d'herbe destiné aux vaches laitières..... 39

D. Bauchart — Digestion comparée des lipides chez les ruminants et les monogastriques..... 45

A. Muller — Utilisation d'un conservateur d'ensilage d'herbe granulé : le Kofasil-Plus..... 57

J.P. Jouany — Dosage des acides gras volatils et des alcools dans les ensilages par chromatographie en phase gazeuse..... 63

Ve Symposium International sur la Physiologie des Ruminants

Michelle Durand — Section V. Métabolisme minéral..... 67

M. Vermorel — Section VI. Quelques aspects du métabolisme intermédiaire chez les ruminants..... 73

Articles techniques parus en 1980..... 81

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) 5-8

Création de la Station de Recherches sur la Vache laitière à Rennes

M. JOURNET

Station de Recherches sur la Vache laitière
Saint-Gilles - 35590 L'Hermitage

Avec le développement important des productions animales dans l'Ouest de la France, il est apparu important à la Direction de l'INRA, sous l'impulsion de l'Etablissement Public Régional, d'implanter au Centre de Rennes deux nouvelles Stations de Recherches sur l'Elevage des Porcs et l'Elevage Laitier.

A côté des recherches de nature essentiellement zootechnique, le Laboratoire de la Production Laitière dans l'environnement du Centre INRA de Theix, avait développé des études de base de nature plus physiologique.

De ce fait, avec la création de la Station de Recherches sur la Vache Laitière de Rennes, il a été décidé de maintenir à Theix un secteur de recherches approfondies sur le cycle gestation-lactation (constitution et mobilisation des réserves, particularités digestives et métaboliques). Ce Laboratoire, sous la direction de B. REMOND, assisté de Y. CHILLIARD et M. DOREAU, coordonnera ses recherches avec celles conduites sur les autres femelles (vaches allaitantes, brebis, juments) et les Laboratoires d'Etudes sur la Digestion, le Métabolisme énergétique et azoté, la Pathologie d'origine nutritionnelle.

Par ailleurs, au plan zootechnique, l'étude des régimes alimentaires hivernaux (foin, ensilage), du pâturage et des systèmes de conduite des troupeaux laitiers en zone de demi-montagne continuera d'être conduite sur le Domaine expérimental de Marcenat (Cantal), dans le cadre d'une action pluridisciplinaire de l'INRA (Station de Recherches sur la Vache Laitière de Rennes, Laboratoires des Aliments, de la Production de Viande et d'Economie de l'Elevage de Theix, le DRSAD*). Rappelons en outre que le Laboratoire des Aliments poursuivra les recherches sur les ensilages d'herbe et leur complémentation sur le Domaine expérimental d'Orcival.

A Rennes, est transféré l'essentiel du secteur de recherches sur la conduite alimentaire des troupeaux laitiers (vaches laitières et génisses). Les activités de la nouvelle Station seront en outre coordonnées avec celles des autres disciplines INRA situées en : 1/ en amont : Agronomie (Angers, Quimper), Amélioration des Plantes (Lusignan, Rennes, le Pin au Haras), Technologie des Aliments du Bétail (Nantes) ; 2/ en aval : Technologie Laitière et Economie des Exploitations Laitières (Rennes) ; 3/ et connexes : Elevage des Génisses (Rennes), Traite (Rennes), Génétique (Le Pin au Haras).

Les recherches qui y seront conduites, comme auparavant, auront pour l'essentiel une vocation nationale, mais une part des activités de la station concernera les problèmes laitiers du Grand Ouest et sera, de ce fait, coordonnée avec les préoccupations des organismes de développement régionaux (ITEB, ITCF, EDE, Chambres d'Agriculture, industries laitières et de l'alimentation du bétail).

*Département de Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement.

I - La poursuite des grands thèmes de recherches antérieurs

A - Les méthodes générales de rationnement

La station continuera d'avoir comme principal thème l'étude des méthodes de rationnement des vaches laitières en fonction :

- des caractéristiques des animaux : potentiel de production, format, âge, stade physiologique
- des rations : nature et qualité des fourrages, système d'affouragement (*ad libitum*, limité), proportion, nature et répartition des apports d'aliments complémentaires.

Ces recherches s'appuieront sur l'étude des facteurs qui font varier :

- *le niveau d'ingestion* en distinguant ceux qui agissent sur la *"capacité d'ingestion"* (fonction des caractéristiques individuelles des vaches et de leur état nutritionnel) et sur l'

''ingestibilité'' des rations (fonction des caractéristiques propres des aliments),

- *la valeur énergétique des rations* en s'attachant particulièrement aux phénomènes d'associativité entre fourrages et aliments concentrés et leurs conséquences sur l'efficacité énergétique et la valeur laitière des rations,

- *la valeur azotée des rations* avec comme objectif de recherches, 1/ les meilleures combinaisons de sources azotées pour maximiser la valeur PDI, satisfaire au mieux les besoins azotés et réaliser des économies de protéines, et 2/ les meilleures associations de sources énergétiques et azotées pour assurer une valorisation maximum des rations.

B - L'étude des rations

Les rations mises à l'étude (nature et proportion des fourrages qui la composent et des aliments concentrés complémentaires) tiendront compte des nouvelles orientations en matière de production et de conservation des fourrages et de conduite alimentaire des troupeaux (distribution *ad libitum* ou limitée, proportion d'aliment concentré).

C - Production laitière et composition du lait

L'étude des facteurs zootechniques qui font varier la composition chimique des laits (taux butyreux et protéique, fractions lipidiques et azotées) sera poursuivie :

- facteurs extrinsèques (alimentation, saison, climat)
- facteurs intrinsèques (stade physiologique, âge, variations individuelles)

L'étude de l'effet de ces facteurs sur les qualités technologiques des laits pourra être entreprise à l'avenir en fonction des besoins de l'industrie laitière.

D - L'élevage des génisses laitières

Les recherches commencées à Theix seront poursuivies à Rennes dans le but de déterminer le meilleur profil de croissance des génisses laitières et les meilleures successions de régimes hivernaux et de pâturage en fonction de l'âge au premier vêlage, et des systèmes d'alimentation des vaches laitières à partir de la première lactation. L'étude de la période 0-6 mois sera effectuée en rapport direct avec la Station de Recherches de Zootechnie de Rennes (MATHIEU, TOULLEC).

II - Les nouvelles orientations

La nouvelle Station continuera comme par le passé à Theix de mener en parallèle des recherches sur l'alimentation de caractère appliqué et des études de base de caractère analytique sur les processus digestifs et métaboliques qui nécessitent l'emploi d'animaux en bilan digestif et fistulés. Mais l'accent sera mis sur certains points et de nouvelles recherches seront entreprises.

A - Les recherches de base

Elles concernent deux secteurs déjà anciens : l'ingestion et la nutrition azotée, et deux secteurs nouveaux : la nutrition de la vache à l'herbe et la synthèse des constituants du lait.

1/ L'ingestion

Les recherches auront comme objectif :

- d'affiner la prédiction de l'ingestion à partir des caractéristiques des vaches et de la ration,
- d'approfondir les mécanismes qui contrôlent la capacité d'ingestion des vaches laitières en fonction de leurs caractéristiques physiologiques et anatomiques mais aussi en fonction de leur état nutritionnel (métabolique) en vue de déterminer les différentes voies possibles pour modifier (stimuler ou inhiber) l'ingestion.

2) La nutrition azotée

La mesure des flux d'azote et de composition des fractions azotées aux différents niveaux du tube digestif devra permettre de préciser les recommandations azotées :

- au niveau de la population microbienne du rumen : niveau, nature et répartition des apports d'azote fermentescible d'origine alimentaire, le rôle et l'importance du recyclage d'azote et de l'apport de matière organique.

- au niveau de l'animal : recommandations en PDI en fonction des caractéristiques des animaux (âge, stade physiologique...) et corrections à apporter en fonction du niveau d'alimentation, du rapport fourrage/concentré...

3) La nutrition de la vache à l'herbe

Les recherches seront principalement axées sur l'ingestion et la digestion de la vache laitière au pâturage :

- *L'ingestion* : étude des facteurs individuels les plus importants (âge, stade de la lactation...), de la conduite alimentaire (système d'exploitation, chargements), du niveau et de la nature de la complémentation, de la saison...

- *La digestion* : étude des flux digestifs et de la composition des produits terminaux de la digestion (rumen, intestin) en vue de déterminer les variations de la valeur nutritionnelle de l'herbe, les risques de déficits énergétiques et azotés, la nature et le niveau de la complémentation pour y remédier.

4) La synthèse des constituants du lait en rapport avec les produits terminaux de la digestion

Ces études seront conduites en vue : 1) d'améliorer l'efficacité de la synthèse des constituants du lait, 2) d'agir plus

spécifiquement sur certains constituants, ou 3) d'orienter favorablement l'utilisation des nutriments vers la synthèse du lait aux dépens des tissus corporels (valeur laitière des rations). Elles font appel aux techniques d'infusions à différents niveaux du tube digestif et de mesures des différences artério-veineuses mammaires.

B - Les recherches appliquées

Elles concernent quatre grands secteurs :

1) Les systèmes de conduite des troupeaux laitiers

Les évolutions qui se dessinent dans tout ce qui touche au fonctionnement des ateliers laitiers (le niveau génétique des animaux, des potentialités fourragères, le coût de certains facteurs de production : engrais, fuel, machines..., les sources d'approvisionnement en aliments concentrés) conduisent à entreprendre des recherches prospectives sur de nouvelles méthodes de conduite alimentaire des troupeaux laitiers (importance relative des fourrages et des concentrés, leur nature et leur modalité de rationnement *ad libitum* ou limité, séparé ou en mélange, individualisé ou par lot...). Tous les aspects de ces recherches concernant le cycle gestation-lactation seront concertés avec celles du Laboratoire de la Production Laitière de Theix.

2) Les rations mixtes hivernales

En fonction des objectifs de conduite alimentaire précités et des tendances observées, l'étude de rations portera sur les combinaisons de fourrages les plus appropriées faisant appel, à côté de l'ensilage de maïs, aux graminées pérennes et légumineuses fourragères, crucifères, protéagineux...

3) Le pâturage

Le thème véritablement nouveau de la station sera l'étude de quelques-uns des principaux facteurs de conduite des troupeaux laitiers au pâturage : système d'exploitation, chargement, fertilisation, espèces fourragères, complémentation... avec double objectif : 1) la satisfaction des besoins de production de plus en plus élevés à l'herbe dans le cas soit d'une utilisation maximale du pâturage ou au contraire d'une complémentation importante, 2) la simplification et la sécurisation des systèmes d'exploitation du pâturage. Ce thème sera étudié à Rennes mais surtout du Domaine INRA du Pin au Haras.

4) Les phases critiques de l'élevage des génisses laitières

Avec l'accroissement de la précocité au vêlage qui accompagne la spécialisation laitière, la période d'élevage des génisses, et plus particulièrement certaines phases prennent une grande importance dans la conduite des troupeaux laitiers. Ceci justifie l'étude à ces périodes clefs des effets multiples de l'alimentation (niveau, nature et qualité des apports) et de l'environnement (exercice) à court et à long terme sur la croissance, la reproduction, la production ultérieure, la pathologie et celle des mécanismes en cause.

III - Les travaux pluridisciplinaires et en collaboration

L'alimentation des troupeaux laitiers ne constitue qu'un des maillons bien que central, de la filière lait et une des missions que s'est fixée la Station est d'initier ou de participer à des actions pluridisciplinaires avec les secteurs de recherches suivants :

A) En production animale

- *Nutrition :*

A l'intérieur du Département Elevage Ruminants, les études d'alimentation des vaches laitières continueront d'être étroitement coordonnées avec celles de tous les laboratoires concernés (aliments, digestion, élevage des génisses...) et celles du Laboratoire de la Production Laitière de Theix tout particulièrement. La liaison sera faite également avec d'autres départements de l'INRA, notamment avec celui de la physiologie de la reproduction.

- *Génétique :*

Les études sur les inter-relations génotype-milieu (génotypes plus ou moins favorables à la conduite alimentaire des troupeaux laitiers) vont être réalisées en collaboration étroite avec la Station de Génétique Animale de Jouy-en-Josas sur le Domaine Expérimental du Pin au Haras (J.J. COLLEAU et A. MULLER).

- *Pathologie :*

La recherche de partenaires à l'intérieur et à l'extérieur de l'INRA (Ecoles Vétérinaires, ITEB, EDE...) sera recherchée pour les troubles d'origine nutritionnelle (digestifs et métaboliques) liés aux systèmes et régimes mis à l'étude.

- *Traite :*

Inter-actions avec les systèmes de rationnement en concentré ; conséquences sur la qualité des laits ; physiologie de la lactation (maîtrise de l'activité mammaire et des courbes de lactation) ;

B) En production végétale (et étude de systèmes)

La station cherchera à faire participer aux études de systèmes d'alimentation et sur le pâturage les chercheurs de l'INRA et les enseignants chercheurs dans les disciplines d'Agronomie (Angers, Rennes), d'Amélioration des Plantes (Lusignan, le Pin, Rennes), d'Economie (Rennes, Theix) et du DRSAD ainsi que les partenaires du développement (ITEB, EDE, ITCF). Ces recherches seront également intégrées au mieux dans le cadre des activités du RNED.

Les supports expérimentaux pour ces études généralement à long terme et de caractère synthétique seront les troupeaux et domaines localisés dans différents lieux géographiques :

Ouest : Domaines de l'ENSA de Rennes mis à la disposition de l'INRA, Domaine du Pin au Haras ;

Centre : Domaine Expérimental de Marcenat ;

Est : Domaines de Mirecourt et de l'ENSIAA de Nancy (en collaboration avec la Chaire de Zootechnie et l'ITEB).

Moyens de recherches du laboratoire

Chercheurs et Techniciens

- *Scientifiques :*

M. JOURNET, Directeur du Laboratoire

R. VERITE, Maître de Recherches
Méthodes générales de rationnement, étude des rations et de leur complémentation

H. RULQUIN, Assistant
Produits terminaux de la digestion et synthèse des constituants du lait.

J.L. PEYRAUD, A.S.C.
Nutrition de la vache à l'herbe

P. FAVERDIN, A.S.C.
Nutrition azotée et ingestion

- *Ingénieurs de recherches :*

A. HODEN - Pâturage et systèmes de conduite des troupeaux laitiers

R. GIOVANNI - Ingestion et valeur nutritive des fourrages dans les conditions de pâturage.

J.L. TROCCON - Conduite alimentaire des troupeaux de génisses.

- *Ingénieurs d'expérimentation :*

B. MARQUIS - Conduite des troupeaux expérimentaux de vaches et de génisses.

P. NOEL - Conduite des domaines expérimentaux.

Le personnel de laboratoire, animaliers, domaines, ateliers, secrétariat, sera composé d'environ 20 personnes au début de l'année 1982 : Y. ARCHENOUL, P. BAZIN, D. CHEVREL, A. CHOUAN, L. DAHIER, P. FRIN, R. GARNIE, H. HETAULT, B. JAN, Y. JEZEQUEL, R. PAPIN, QUINTARD Louisette, QUINTARD Marie-Claude, QUINTARD M., G. SAVARY, SORNET Claire, TEXIER Maryvonne, TORRES Ginette, VERITE Maryse.

Domaines et troupeaux

- *Domaines* : CHAMPEAUX - 40 ha (ENSAR)
MEJUSSEAUME - 70 ha (ENSAR)
LE RUBLET - 34 ha (INRA)

- *Troupeaux* : CHAMPEAUX . 45 vaches Pie Noires, en stabulation libre, paillée, alimentation par lots (2 à 3)

MEJUSSEAUME : 110 vaches Pie Noires en alimentation individuelle, stabulation libre à logettes
80 génisses et 80 veaux en alimentation par lots de 6 à 10
22 vaches en bilan digestif et fistulées et 24 moutons en cages à bilan digestif

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) 9-10

Création du Laboratoire des Aliments d'Origine Animale au Centre de Recherches Agro-Alimentaires de Nantes

R. GOUTEFONGEA

Laboratoire des Aliments d'Origine Animale
Chemin de la Geraudière, 44072 Nantes Cedex

Les activités des premières équipes mises en place en 1976 au Centre de Nantes ont été orientées essentiellement vers la technologie alimentaire et l'efficacité des aliments pour animaux ainsi que vers la biochimie et la physicochimie appliquées à l'alimentation, en particulier aux processus des industries de cuisson des céréales, produits amylacés et dérivés et à l'extraction des protéines végétales.

La vocation Agro-Alimentaire de ce Centre qui lui impose d'avoir un champ d'action "Multiproduits", nécessitait donc de compléter ses activités dans le domaine des produits d'origine animale. C'est ce qui a motivé, de la part de la Direction Générale de l'INRA, la création du Laboratoire des Aliments d'Origine Animale.

Créé en janvier 1981 à partir d'un noyau de chercheurs issus de la Station de Recherches sur la Viande de Theix, le laboratoire est en cours d'implantation au Centre de Nantes où le bâtiment destiné à l'abriter est en voie de finition.

Le thème général des recherches, qui doivent être développées par l'équipe venant renforcer et compléter les moyens déjà en place, consiste en l'étude des phénomènes se déroulant au cours des processus de fabrication de produits directement consommables par l'homme, à partir de matières premières protéiques, lipidiques, glucidiques d'origine végétale et animale, carnée ou non. Le but poursuivi est l'obtention des connaissances nécessaires à la réalisation, à partir de ces matières premières et à travers les traitements technologiques appropriés, de produits destinés à l'alimentation humaine : ces produits devant être consommables immédiatement ou après une très légère phase de préparation ultime (réchauffage par exemple) et présenter des caractéristiques organoleptiques, hygiéniques et nutritionnelles satisfaisantes pour un coût acceptable.

Programme

Il s'articule autour de trois axes essentiels :

- La matière première et ses composants

La matière première doit être caractérisée par ses propriétés fonctionnelles et nutritionnelles, qui dépendent des caractéristiques de ses composants et de leurs intéractions, ainsi que des modifications de ces caractéristiques sous l'effet des traitements.

- Les traitements technologiques

Outils de transformation de la matière première en produits finis, les modifications qu'ils apportent aux propriétés des composants et à leurs interactions doivent être mieux connues de manière à pouvoir adapter le traitement à la matière première en vue de l'obtention d'un produit de caractéristiques données.

Les différents traitements peuvent se regrouper en différentes catégories : traitements mécaniques, thermiques, chimiques ou physicochimiques. Selon la matière première et le produit désiré, tel type de traitement a une importance prépondérante ; mais dans tous les cas une parfaite connaissance des différents aspects de leur rôle est nécessaire :

- Aspects physiques
- Aspects biochimiques et physicochimiques
- Aspects économiques

car ils conditionnent les caractéristiques organoleptiques, nutritionnelles, hygiéniques et économiques du produit.

- **Les produits**

Les caractéristiques précitées doivent être mesurées, appréciées et leur évolution au cours de la période de stockage séparant la production de la consommation, ainsi qu'au cours du stade ultime de préparation, parfaitement contrôlée.

Moyens

Sur le plan matériel, le bâtiment en cours d'achèvement est constitué d'une partie laboratoires équipée du matériel permettant les études biochimiques, physicochimiques et physiques nécessaires à l'appréciation des matières premières et des produits et complétée par une installation d'analyse sensorielle. Une partie atelier, composée d'une salle de fabrication et de ses annexes (préparation des matières premières, traitements thermiques, conditionnement, stockage) permettra la réalisation de produits selon des processus définis par les résultats obtenus au laboratoire, lesquels produits seront ensuite caractérisés et jugés au laboratoire. Cet atelier complètera donc, par l'indispensable stade d'application pratique, le travail de recherche.

Les recherches entreprises étant à caractère pluridisciplinaire, tous les aspects ne pourront être envisagés au sein même du laboratoire et des collaborations scientifiques devront être développées sur place avec les laboratoires INRA déjà implantés, l'ENITIAA, l'Ecole Vétérinaire, l'Université, et à distance pour certains problèmes spécifiques comme les arômes (Dijon). Sur le plan des applications pratiques les industriels locaux et les organismes professionnels seront des correspondants de choix.

Sur le plan humain, l'équipe est actuellement composée de 13 personnes et se développera au cours des années à venir :

Scientifiques :

R. GOUTEFONGEA, Directeur du Laboratoire, Maître de Recherches - Qualité et stabilité des produits.
J.P. DUMONT : Chargé de Recherches - Intéractions protéines-lipides. Qualité des produits.
M. LAROCHE : Chargé de Recherches - Physique et physicochimie des traitements thermiques.
J.M. CHOBERT : Assistant - Caractéristiques des protéines.
G.GANDEMER : Assistant - Caractéristiques des lipides.
Catherine HARB : A.S.C. - Biochimie des traitements thermiques.
P. NOEL : Ingénieur de Recherches - Traitements d'addition - Aspects analytiques.
P. ROUGIER : Ingénieur de Recherches - Traitements d'addition - Conséquences.

Techniciens :

NICOLAS Marie-Georgette, NICOLAS N., SEMUR J.P., VEDRENNE P.

Secrétariat :

Jeanine SEMUR:

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) 11-14

L'enquête Eco-Pathologique Continue : 1. Une nouvelle méthode de travail en pathologie chez les ruminants

J. BARNOUIN - M. BROCHART

Laboratoire d'Eco-Pathologie

Pourquoi un type nouveau de recherches en Pathologie

L'Enquête Eco-Pathologique Continue, que nous allons présenter, est un outil de travail épidémiologique d'un type nouveau. L'épidémiologie s'occupe des maladies de groupe affectant une espèce animale ; ceci afin de mieux connaître quels sont les facteurs, liés au milieu ou à l'animal, qui expliquent les variations dans le temps (cycles annuels, maladies en régression ou en développement) et dans l'espace (petites régions, zones d'élevages) de l'intensité des pathologies de groupe, en élevage extensif ou intensif.

La réduction des coûts liés au développement des états pathologiques dans un élevage est aujourd'hui l'un des axes prioritaires à développer, pour entraîner la sauvegarde des revenus et des emplois, particulièrement pour ce qui concerne les élevages des ruminants. Il faut donc mettre en place des schémas d'étude nouveaux, et aborder la pathologie pour répondre aux besoins techniques et sociaux ressentis dans les élevages.

Il est également nécessaire de prendre en compte les problèmes sanitaires au niveau de troupeau, comme unité de vie et donc de désordres pathologiques, et non plus seulement au niveau individuel.

La lutte sanitaire se limitant à l'individu s'avère incapable, quoique demeurant nécessaire, d'aboutir à la compréhension des phénomènes complexes liés à des facteurs multiples qui expliquent pourquoi une maladie existe, n'existe pas, ou existe à des degrés divers au sein d'une population animale déterminée. Ainsi, le sol et sa nature, les techniques prophylactiques entreprises, le volume de main d'oeuvre disponible, les autres maladies existantes, la nature de l'aire de couchage de l'animal, les déséquilibres nutritionnels, les connaissances des éleveurs, les aléas climatiques et ceux des marchés ainsi que l'insuffisance de l'encadrement technique peuvent être des facteurs explicatifs du développement d'états pathologiques.

Enfin, on débouche naturellement, lorsqu'on s'intéresse à la pathologie multifactorielle, sur des notions de prévention qui sont les préoccupations finales de l'épidémiologiste.

Il s'agit pour nous d'une prévention organisée, s'occupant des problèmes nationaux majeurs ou prioritaires au niveau régional, s'appuyant sur des schémas d'étude standardisés, compatibles et complémentaires entre eux; de larges collaborations entre professionnels et scientifiques sont donc nécessaires, afin de confirmer, de moduler et de comprendre les observations effectuées sur les maladies dominantes.

Le cadre de réflexion s'est concrétisé depuis fin 1977 par la mise en place graduelle de l'Enquête Eco-Pathologique Continue en Elevages-Observatoires (EEPC). Ne pouvant nous baser en la matière sur les enregistrements d'études similaires, nous avons bâti avec les Groupements de Défense Sanitaire et toutes les parties intéressées un schéma original de travail (BARNOUIN J., 1980a).

Il s'agit d'une enquête qui étudie les relations milieu-pathologie ; elle a un caractère ''continu'' (et une vocation ''permanente'') et est basée sur un réseau d'Elevages-Observatoires et de ''couples'' éleveurs-vétérinaires. Enfin, l'EEPC est centrée principalement sur l'élevage bovin, mais s'applique également à l'élevage ovin.

120 élevages volontaires de 7 département, l'Ardèche, le Finistère, le Loir et Cher, le Lot, la Haute-Marne, la Mayenne et la Haute-Vienne constituent la base d'information de l'enquête.

Les données recueillies sont mises en forme et traitées pour constituer une banque de données informatisée. Une présentation synthétique des buts, des supports, des informations et de leurs traitements, ainsi que des premières constatations qui ont été faites sur l'EEPC va être maintenant décrite.

L'enquête Eco-Pathologique Continue : le système mis en place

1. Les buts :

1.1. Connaître avec précision et hiérarchiser les maladies économiquement importantes perçues par les éleveurs et leurs vétérinaires.

1.2. Suivre et prévoir l'évolution des maladies

1.3. Les maladies économiquement importantes étant d'origine multi-factorielle, préciser et quantifier les influences du milieu sur le développement des maladies.

1.4. En conséquence, en déduire des stratégies au niveau de l'action sanitaire et de la recherche ; ces stratégies devraient utiliser des prophylaxies ''douces'' et peu onéreuses, notamment pour les pathologies associées susceptibles d'être contrôlées par des facteurs communs et bien prendre en compte les problèmes régionaux.

2. Les supports de l'Enquête

Le réseau d' ''élevages-observatoires'' collectant en continu les informations pathologiques, zootechniques et agronomiques, est assuré par les *Groupements de Défense Sanitaire.* Les 4000 vaches concernées sont confrontées à une grande diversité de conditions géoclimatiques et à des niveaux d'intensification très différents.

- Critères de choix de ces élevages : effectif moyen, chance de survie économique, bonne collaboration avec le vétérinaire praticien, fiabilité des observations (1 département entier et quelques élevages de chaque département ne répondant pas à ce dernier critère ont déjà été éliminés en cours d'enquête).

- Suivi des élevages : des techniciens des GDS assurent 6 passages (d'une demi-journée) par an minimum dont 2 passages pour prises de sang et 4 passages pour consigner sur un questionnaire trimestriel (base de temps : la quinzaine) les informations brutes notées par les éleveurs au jour le jour (coût moyen annuel par élevage de ce suivi, estimé et supporté par les GDS = 5000 F).

3. Les informations recueillies :

3.1. Au niveau de l'élevage :

En continu, symptômes notés par l'éleveur, maladies diagnostiquées par le vétérinaire, rationnement, traitements, mesures prophylactiques, fumures ; 1 fois par an, description technico-économique de l'exploitation à l'aide d'un questionnaire spécialisé :

- cadre régional et environnement physique
- fonctionnement de l'élevage
- mesures prophylactiques et traitements
- analyses complémentaires.

3.2. Au niveau des organismes départementaux :

Informations sur la reproduction (Centre d'Insémination), la production de lait (Contrôle laitier, Laboratoire Interprofessionnel), la gestion économique (Centre de Gestion), la Météorologie (station la plus proche).

3.3. Au niveau des laboratoires

a) analyses de sols, périodicité de 4-5 ans (INRA Arras).

b) analyses biochimiques plasmatiques (1100 vaches, 2 fois par an) : elles concernent 15 variables nutritionnelles (INRA-Eco-Pathologie-Theix), Distomatose (INRA-Maladies Nutritionnelles-Theix), Strongylose et Hypodermose (INRA-Parasitologie-Tours), IBR (Services Vétérinaires, Pathologie Bovine-Lyon), Leptospiroses et Leucose (Services Vétérinaires, Laboratoire Central-Alfort), Paratuberculose et Fièvre Q (Laboratoire Départemental Hygiène-Haute-Vienne), Anti-corps anti-vaccin fièvre aphteuse (Maladies Contagieuses-ENV Lyon) ; cette liste n'est pas limitative et peut évoluer.

4. L'informatisation et l'exploitation des données:

125 000 données annuelles sont recueillies et codées par le laboratoire d'Eco-Pathologie (voir exemple), après dépistage à l'aide de programmes informatiques de l'entrée de données erronées dans l'ordinateur et son système de gestion de données (BARNOUIN, 1980b).

Le laboratoire INRA de Biométrie de Jouy-en-Josas a mis au point, à partir du modèle de la banque de données ''VETO'', un langage d'interrogation, le langage ''Socrate''-CII - Honeywell Bull (BOUVIER *et al.,* 1981). Ce langage permet de ''sortir'' les données enregistrées selon tout regroupement souhaité. Le programme d'analyse statistique ''GENSTAT'' mis au point à Jouy-en-Josas, permet de rechercher les liaisons éventuelles entre les pathologies observées, et entre celles-ci et les variables enregistrées susceptibles de les expliquer. Les analyses en composantes principales permettront peut-être de mettre en évidence des facteurs non pris en compte intialement : l'objectif étant de dégager les principaux facteurs de risque à prendre en compte dans l'analyse d'une situation pathologique.

Il est à noter ici que le problème des ruminants est plus complexe que celui des élevages industriels hors sol, beaucoup plus facilement contrôlables au plan de l'alimentation et des paramètres d'ambiance.

5. Les premières constatations :

5.1. Au niveau des élevages :

Reconnaissance progressive par les éleveurs, les vétérinaires et les techniciens de l'intérêt de la notation au jour le jour de la pathologie comme base d'étude d'un problème pathologique dans un élevage ; intérêt des informations découlant des diverses analyses pour mieux juger les problèmes d'ensemble de l'élevage ; réduction progressive au cours du temps des anomalies nutritionnelles majeures ; conséquence : nécessité d'un renouvellement périodique des élevages-observatoires pour une partie de l'échantillon au moins, afin de garder des situations d'élevage représentatives et ne pas glisser vers des élevages-modèles.

5.2. Au niveau des vétérinaires praticiens :

Intérêt manifesté pour une approche rationnelle de la pathologie par l'intermédiaire des données de l'Enquête-Eco-Pathologique ; aide au diagnostic pour des pathologies spécifiques (ex. pathologie hépatique).

5.3. Au niveau des GDS départementaux :

Lourdeur du travail de l'enquête, compensée par le fait que celle-ci permet une prise en compte de la ''totalité'' du problème sanitaire, et de n'être plus confiné à la fonction de courroie de transmission entre les éleveurs et la DSV pour les seules prophylaxies légales.

5.4. Au niveau de la Fédération Nationale des GDS:

Même impression qu'au niveau des GDS départementaux extension souhaitée du réseau d'observation envisagée à quelques départements supplémentaires ; le réseau d'élevages-observatoires pourrait être l'affirmation sur le terrain d'une politique sanitaire tous azimuts.

5.5. Au niveau des laboratoires participants :

Valeur irremplaçable d'une banque de données très riche (la seule existante en France et à notre connaissance dans le monde) permettant de corréler les diagnostics de laboratoire avec la pathologie concrète ; intérêt de pouvoir réaliser des cinétiques sur des animaux et des exploitations bien contrôlées.

5.6. Au niveau des objectifs de l'enquête :

5.6.1. Hiérarchies et fréquences des pathologies :

- pathologie observée par fréquence décroissante : mammites cliniques, infections génitales, boiteries, dérèglements ovariens, non délivrance (BARNOUIN, 1981). Selon les département la pathologie de la reproduction constitue à elle seule de 30 à 70 p.100 de toute la pathologie observée, et la pathologie mammaire de 16 à 28 p.100.

- maladies nutritionnelles et métaboliques : carences minérales en éléments majeurs (Ca, P, Mg) rares, en Cu-Zn peu fréquentes ; fréquence assez élevée des carences et surcharges énergétiques et azotées, et des troubles hépatiques ; fièvre vitulaire de 1 à 6 p.100, acétonémie de 0,4 à 2,9 p.100 selon les départements.

- maladies parasitaires : selon les départements : distomatose (diagnostic sérologique) de 10 à 70 p.100 des animaux, hypodermose (diagnostic sérologique) de 1,5 à 9,5 p.100 ; strongyloses gastriques (taux de pepsinogène plasmatique) : 3 départements (Finistère, Haute-Marne, Haute-Vienne) fortement infestés sur 6.

- maladies infectieuses : (diagnostic sérologique) : faible taux d'IBR, de leptospirose, de Leucose, taux moyen à assez élevé de Fièvre Q, qui pourrait être un agent pathogène d'avenir.

Il est cependant important de noter qu'il est rarement possible de lier avec certitude des positivités sérologiques constatées au niveau des élevages ou des départements à des symptômes qu'on puisse leur attribuer en toute certiture : il s'agit là du problème majeur de la signification des épreuves diagnostiques que l'EEPC contribuera peut-être à faire évoluer.

5.6.2. Associations pathologiques, relations pathologie-milieu ; analyse économique de la pathologie :

Le travail est à peine ébauché, mais le stock de données maintenant en notre possession vont nous permettre d'aborder ces thèmes majeurs. Pour ce qui est de l'analyse économique, la collaboration avec des économistes est indispensable.

Conclusion

L'Enquête Eco-Pathologique Continue que nous avons mise en place est dans une phase active ; il a fallu expérimenter les outils informatiques et faire la somme des nombreuses difficultés inhérentes à tout travail de terrain, que nos collègues de la recherche médiacale ont déjà décrites pour ce qui les concerne (LAFERRIERE *et al.*, 1977) ; grâce aux techniques épidémiologiques, ceux-ci ont pu accomplir dans certains domaines (pathologie cardio-vasculaire, cancérologie) des progrès décisifs dans la connaissance des facteurs déterminants de ces pathologies majeures, en particulier de ceux liés au milieu.

Si une des vocations de l'Enquête Eco-Pathologique est de devenir permanente, elle devrait également à notre sens, pour constituer un système d'avertissement sanitaire, prendre un caractère national, en s'étendant à toutes les zones et à tous les types d'élevage des ruminants. Elle permettrait ainsi de bâtir un système vivant d'observation de la pathologie réelle et de l'évolution des facteurs qui la conditionnent.

Références bibliographiques

BARNOUIN J., 1980 a. Enquête Eco-Pathologique Continue en Elevages-Observatoires chez les ruminants ; objectifs et stratégie. *Ann. Rech. Vét.*, **11**, 341-350.

BARNOUIN J., 1980 b. Enquête Eco-Pathologique Continue en Elevages-Observatoires chez les ruminants ; le système de codification et de vérification des données. *Ann. Rech. Vét.*, **11**, 351-366.

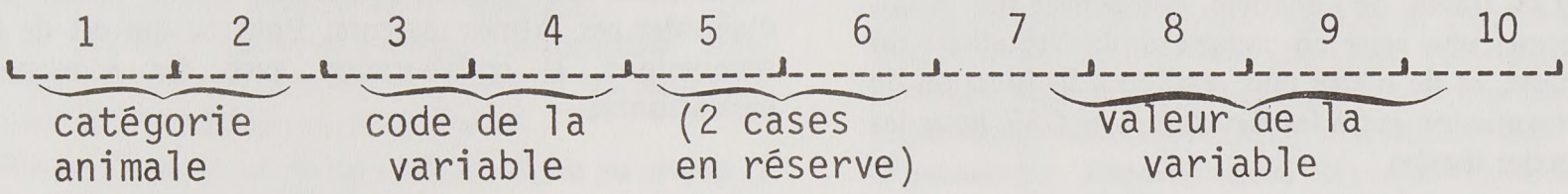
BARNOUIN J., 1981. L'Enquête Eco-Pathologique Continue en Elevages-Observatoires un système d'étude de la pathologie multifactorielle. In *Compte rendu des 12èmes Journées du Grenier de Theix* (sous presse).

BOUVIER A., JACQUEMARD A., RAKOTOMANGA A., VILA J.P., 1981. Aspects informatiques et statistiques de l'Enquête Eco-Pathologique Continue. In *Compte rendu des 12èmes Journées du Grenier de Theix* (sous presse).

LAFFERIERE N., TENNAILLON A., SALTIEL J.C., SMAGGHE A., CHICOU F.J., CHRETIEN J., PORTOS J.L., 1977. *Le questionnaire médical.* 131 pages. Editions de l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale.

Exemple

Un exemple de la méthode d'enregistrement des données dans l'EEPC :
Règles de codage des variables du fichier ''bilan laitier''
10 positions informatiques par variable,
1 à n variables codées par exploitation et par an,
unité de temps = la quinzaine de jours :



Codes des variables

01 : chute de production mensuelle supérieure à 15 p.100 durant les 5 premiers contrôles
02 : nombre de kg de lait 4 p.100 produits par vache et par an.
03 : nombre de kg de lait moyen au vêlage (ramené à un niveau adulte).
04 : nombre de cellules du lait (moyenne mensuelle d'élevage).
05 : intervalle moyen entre vêlages.
06 : numéro moyen de lactation.

Expression des résultats

variable 01 : on code de 1 à n suivant le nombre de chutes.
variables 02 et 03 : les chiffres enregistrés correspondent à une période d'un an ; pour 02 : on code les milliers, centaines, dizaine et unités en kg ; pour 03 : on code les dizaine, unités et la première décimale.
variable 04 : on code les milliers de cellules
variable 05 : on code les centaines, dizaines et unités en jours.
variable 06 : on code les unités et la 1ère décimale.

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) 15-19

Utilisation du pois protéagineux en remplacement du tourteau de soja dans les aliments concentrés pour veau d'élevage

R. GUILHERMET*, R. GIOVANNI**, J.L. TROCCON***

avec la collaboration de C. de LAMOTTE (1), P. de SAINT JAN**, G. ABELARD*

** Chaire de Zootechnie, ENSA*
*** Station de Zootechnie INRA*
**** Station de Recherches sur la vache laitière*

L'aliment concentré constitue la part essentielle de la ration du veau aux environs du sevrage, période durant laquelle la capacité d'ingestion du jeune animal se développe rapidement. Aussi, il importe que cet aliment soit de la meilleure qualité possible (appétibilité, valeur nutritive, ingestibilité) afin de limiter le choc du sevrage qui entrainerait le ralentissement de la croissance à cette période particulière.

Le tourteau de soja constitue généralement la source de protéines la plus importante des aliments concentrés utilisés pendant le sevrage. Mais pour de nombreuses raisons, notamment d'économie nationale, on doit s'interroger sur la valeur de remplacement des protéagineux, tels que la féverole et le pois dont la culture se développe en France. Une réponse favorable a déjà été apportée pour la féverole tant pour les jeunes veaux (GIOVANNI, 1975) que pour les bovins en croissance et la vache laitière (MATHIOT, 1973 ; TISSERAND, 1973).

En ce qui concerne le pois protéagineux, les premiers résultats de son utilisation ont été obtenus chez le porc (HENRY et BOURDON, 1973 ; BOURDON et PEREZ, 1976 ; LEUILLET, 1977) et chez l'agneau en croissance (CAZES et VAN QUACKEBEKE, 1976 ; REYNE et GARAMBOIS, 1977 TISSERAND, 1977). Le remplacement du tourteau de soja par le pois a généralement entraîné, en particulier chez les jeunes, un effet dépressif sur les gains de poids vif, ce qui a conduit à limiter son taux d'introduction dans la ration. Les facteurs responsables étaient principalement, seuls ou conjugués, une diminution des quantités ingérées, le déficit de l'aliment concentré en acides aminés soufrés ou en tryptophane et une utilisation un peu moins bonne de l'azote.

Ainsi, il nous est apparu intéressant d'entreprendre à Rennes, chez le veau d'élevage, des essais permettant de préciser les conditions d'utilisation du pois en remplacement total ou partiel du tourteau de soja. Pour préparer des aliments iso-énergétiques et azotés, il a été fait appel à l'urée de manière à s'assurer de l'apport d'azote fermentescible et au tannage pour améliorer la valeur PDI des aliments concentrés.

Adresses. * et ** 65, Route de St Brieuc 35042 Rennes Cedex
*** Saint Gilles - 35590 L'hermitage
(1) Ingénieur ENSFA, Rennes, en stage de fin d'études en 1979

I. Conditions expérimentales

Quatre aliments concentrés sensiblement iso-énergétiques (1,15 à 1,18 UFV/kg MS) et iso-azotés (16 p.100 MAT/kg MS) ont été offerts à des veaux en cours de sevrage :

- un aliment témoin(TS) contenant du tourteau de soja et de l'urée.
- un aliment (HP) contenant une proportion élevée de pois normal seul (50 p.100).
- un aliment (BP) contenant 25 p.100 de pois normal et de l'urée.
- un aliment (BPT) contenant 25 p.100 de pois tanné et de l'urée.

Le maîs-grain a constitué la céréale de base de ces aliments (tabl. 1). Le pois d'hiver (variété Frisson) récolté en 1978 (INRA-Versailles) avait une teneur en MAT de 27,2 p.100/MS. La farine de pois a été traitée avec le formaldéhyde à la dose de 0,9 p.100 pour fabriquer l'aliment BPT. Les valeurs PDI de ces aliments ont été calculées à partir de la teneur en MAT des matières premières et de leur solubilité (INRA, 1978). Le foin utilisé était un foin de graminées de bonne qualité (9. p.100 MAT et 31 p.100 cellulose/MS).

A - Essais d'élevage en lots

Essai 1 :

Trente six veaux mâles de race FFPN ont été achetés à l'âge de 15 jours et répartis en 4 lots comparables destinés à recevoir

TABLEAU I

Compositions physique et chimique et valeur nutritive des aliments concentrés

Aliments concentrés	TS	HP	BP	BPT
Composition physique (p.1000)				
Maïs grain	842	450	692	692
Tourteau de soja 44	100	-	-	-
Pois normal	-	500	250	-
Pois tanné	-	-	-	250
Urée	8	-	8	8
CMV	50	50	50	50
Composition chimique (p.1000 MS)				
Matières minérales	64	67	62	63
Matières azotées totales	160	167	161	158
solubles	54	87	77	39
Valeur nutritive (1)				
UFV (kg MS)	1,18	1,15	1,17	1,17
PDIN (g/kg MS)	115	120	111	128
PDIE (g/kg MS)	122	116	111	146

(1) Valeurs déterminées selon tables INRA - 1978

les aliments TS, HP, BP et BPT. Ils ont été sevrés à la 7ème semaine d'essai après avoir reçu 45 kg d'aliment d'allaitement distribués en 2 repas (semaine 1) puis en un seul repas par jour (semaines 2 à 7). Elevés en stabulation libre sur paille par lot de 9, les veaux ont été pesés chaque semaine à jour et heure fixes tandis que les quantités offertes et refusées d'aliment concentré et de foin ont été contrôlées chaque jour jusqu'à la fin de l'essai (semaine 10).

Essai 2 :

Deux lots de 10 veaux de race FFPN mais âgés de 5 mois à la mise en lot et contrôlés depuis le sevrage sur un type de régime identique, ont permis de comparer les deux aliments TS et BP. Les animaux élevés sur paille en étable entravée ont été rationnés individuellement sur la base de 97 g MS/kg de poids métabolique (70 p.100 d'aliment concentré et 30 p.100 de foin), soit l'équivalent de 2,0 kg MS/100 kg de poids vif pendant une période de 35 jours seulement.

B - Essais sur veaux en bilan (essai 3)

Huit veaux mâles de race FFPN ont été placés en cage à bilan de l'âge de 15 jours jusqu'à la 17ème semaine de présence. Ils ont été sevrés à la fin de la 7ème semaine dans les conditions d'alimentation de l'essai 1.

Dès le sevrage, les veaux ont été répartis en quatre couples destinés à recevoir les quatre aliments précédents selon un schéma expérimental en continu pendant les 5 premières semaines (période 1) et selon un carré latin pendant les 5 dernières (période 2). Les animaux ont reçu les aliments concentrés et le foin, respectivement 87 et 13 p.100 de la MS du régime, sur la base de 75 (période 1) et 88 g MS/kg de poids métabolique (période 2). Chaque période de mesures a comporté une période d'adaptation de 9 jours et une période de mesures de 5 jours. Les résultats par période (tabl. 3) correspondent ainsi à la moyenne de 3 séries de mesures.

II. Résultats et Discussion

A - Essais d'élevage

1 - Le remplacement du tourteau de soja par le pois n'a pas eu d'influence sur les performances des veaux au moment du sevrage (essai 1 - tabl. 2).

Pendant la fin de la période d'allaitement, les veaux du lot témoin ''TS'' ont été atteints de troubles pulmonaires de sorte qu'il n'est pas possible de comparer les résultats à ceux des lots HP, BP et BPT, peu malades, qui se sont bien adaptés à leur aliment respectif. L'aliment BP a cependant été mieux consommé tout au long de l'essai (+ 14 et + 11 p.100 de HP et BPT). L'ingestion plus faible de HP et BPT peut provenir pour le premier d'un léger goût dû à la forte proportion de pois et pour le second d'un tannage effectué à dose trop élevée de formaldéhyde, influençant à la fois l'appétibilité de l'aliment et l'apport d'azote fermentescible au niveau du rumen. L'apport de PDI pour chaque lot (240-260 g PDI/j) a cependant été assez voisin de celui recommandé actuellement (INRA, 1978).

Ainsi, il n'y a pas eu de différence significative entre les gains de poids vif des trois lots expérimentaux (800 à 850 g/j

TABLEAU 2

Quantités ingérées et gains de poids vif des veaux des essais 1 et 2 recevant les aliments expérimentaux

Essais	1 - Veaux de 2 à 10 semaines d'âge				2 - Veaux de 5 mois	
Lots expérimentaux	TS*	HP	BP	BPT	TS	BP
Quantités totales ingérées (kg MS)						
1 - jusqu'au sevrage (50 jours)						
- aliment d'allaitement	42,1	42,1	42,1	42,1		
- aliment concentré	7,6	11,7	13,4	11,1		
- foin de graminées	2,9	4,9	4,1	2,9		
2 - ensemble de l'essai (68 jours)					(35 jours)	
- aliment concentré (a)	38,4	41,6	47,4	43,1	3,3 ± 0,17	3,3 ± 0,19
- foin de graminées (b)	5,9	10,1	7,8	6,7	1,1 ± 0,06	1,1 ± 0,07
- matière sèche totale (a+b)	44,3	51,7	55,2	49,8	4,4 + 0,12	4,4 + 0,13
Poids vif (kg)						
- début essai	43,7 ± 4,4	43,6 ± 2,7	43,5 ± 2,8	43,9 ± 1,8	196,8 ± 15,1	197,7 ± 17,0
- sevrage	81,0 ± 5,8	83,8 ± 7,4	85,6 ± 5,2	82,8 ± 6,1	-	-
- fin essai	97,9 ± 6,5	101,2 ± 10,1	104,6 ± 6,8	100,1 ± 10,8	230,5 ± 17,9	232,1 ± 16,4
Gain de poids vif (g/j)						
- jusqu'au sevrage	760 ± 75	818 ± 114	858 ± 95	800 ± 91	-	-
- ensemble de l'essai	820 ± 89	888 ± 110	925 ± 87	851 ± 143	949 ± 132	986 ± 174

* Les animaux de ce lot ont été atteints de troubles pulmonaires plus importants que dans les autres lots.

jusqu'au sevrage et 850 à 900 g/j ensuite). Ils sont comparables à ceux obtenus dans l'essai 3 et dans d'autres essais sur la féverole ou le pois (GIOVANNI, 1975). Grâce à son bon niveau d'ingestion correspondant aussi au meilleur gain de poids vif, l'aliment BP est apparu le plus intéressant.

2 - Une bonne utilisation de l'association "Pois + Urée" est confirmée chez les veaux en croissance (essai 2 - tabl. 2)

A même niveau d'ingestion, les veaux âgés de 5 mois recevant les aliments TS et BP ont eu un gain de poids vif de 950 à 1000 g/j. Ce niveau de gain de poids vif obtenu correspond bien à l'énergie ingérée (4,3 UF/j) mais à un apport de PDI un peu plus faible (440 g au lieu de 480) que celui recommandé pour ce type d'animal en croissance intensive. La substitution sur une base iso-énergétique et azotée du tourteau de soja par des pois associés à du maïs-grain et à l'urée se révèle ainsi tout à fait possible.

B - Essais sur veaux en bilan

1 - La digestibilité des principaux constituants de la ration a été peu influencée par l'âge des veaux (tabl. 3)

Entre 8 et 15 semaines de présence, les quantités ingérées d'aliment concentré par les veaux ont doublé (1,5 à 3 kg MS) comme on l'observe généralement. Entre ces deux périodes, les digestibilités de la matière organique et de l'énergie de la ration, comprises entre 72 et 78 p.100, ont augmenté en moyenne de 2 à 3 points, en particulier pour les aliments TS et BP. Ces valeurs moyennes sont en accord avec celles obtenues par MATHIEU (1968) pour le veau sevré précocement. La digestibilité des matières azotées a varié dans les mêmes proportions, ce qui peut provenir en partie d'un effet favorable de l'augmentation de la quantité de protéines ingérées (STOBO et ROY, 1973 ; GUILHERMET et TOULLEC, 1978).

L'amélioration de l'utilisation digestive de la matière organique et de l'azote entre les 2 périodes traduit vraisemblablement une adaptation progressive du tube digestif et de la digestion après le sevrage. Cette adaptation revêt par ailleurs un caractère très individuel compte-tenu des variations importantes (4 à 8 points) observées pour le même aliment en période 1, les variations les plus fortes s'observant avec les aliments HP et BP. La sensibilité des veaux à l'action éventuelle des substances indésirables du pois protéagineux d'hiver en particulier pourrait expliquer ces écarts de digestibilité notamment entre 8 et 13 semaines (tabl. 4). En fait, cette influence est probablement limitée puisque les gains de poids vif des veaux des essais 1 et 3 ont été satisfaisants, même avec l'aliment HP.

2 - L'utilisation digestive et l'efficacité de l'azote ont été normales, en particulier pour l'aliment BP

A l'intérieur d'une même période, notamment en période 2, où l'appétit des veaux est resté constant selon leur poids vif, le

TABLEAU 3

Utilisation digestive des régimes contenant les aliments expérimentaux ingérés par les veaux en bilan après sevrage (essai 3)

Aliments expérimentaux	TS		HP		BP		BPT	
Périodes 1 - 8 à 13 semaines 2 - 13 à 17 semaines	1	2	1	2	1	2	1	2
Coefficient de digestibilité (p.100)								
- matière organique	73,5 A	75,0	78,4 B	77,8	73,9	78,0	76,6 B	77,2
- azote	71,8	74,2 a	72,7	72,5	71,3	74,2 a	68,8	71,8 b
- énergie	71,8 A	74,4	75,7 B	74,8	71,5	74,6	74,2 B	74,5
Utilisation de l'azote								
- azote ingéré (g/j)	54,6	73,2 ab	55,7	76,3 a	55,8	75,1 ab	53,0	72,0 b
- azote fécal	15,2	18,9 aA	15,3	21,0 bB	15,8	19,4aAC	16,3	20,2 BC
- azote urinaire	16,0 aA	22,8aAB	17,9aB	25,9 bA	15,8 A	22,7aAB	14,5 a	20,6abB
- azote retenu	23,4	31,5 ab	22,5	29,4 a	24,2	33,0 b	22,2	31,2 ab
Coefficient de rétention azotée (p.100)	59,8	58,2 a	55,4	53,4 b	59,9	59,3 a	60,2	60,1 a
Coefficient d'utilisation pratique de l'azote (p.100)	42,9	43,2 a	40,3	38,6 b	42,8	44,0 a	41,4	43,1 a
Gain de poids vif (8 à 17 semaines) (g/j)	915 ± 176		880 ± 108		831 ± 217		922 ± 225	

Pour chaque période, les résultats accompagnés de lettre différente sont significativement différents à P 0,05 (lettres minuscules) et à P 0,01 (lettres majuscules).

traitement expérimental n'a pas eu d'influence sur les digestibilités de la matière organique et l'énergie. En revanche, la digestibilité de l'azote du régime BPT a été plus faible de 3 points en période 1 et significativement différente de celle de TS et BP en période 2. Provenant du traitement au formaldéhyde, effectué à une dose probablement trop élevée, cette diminution de la digestibilité de l'azote a été déjà mise en évidence chez le veau ruminant (FAICHNEY, 1972 ; SHARMA, 1972), chez l'agneau (MILLER, 1972 ; NISHIMUTA, 1973) et chez la vache laitière (VERITE *et al,* 1977).

TABLEAU 4

Activités antitrypsique et hémagglutinante des aliments expérimentaux
(P. VALDEBOUZE, INRA-NANTES 1978)

Aliments expérimentaux	Activité antitrypsique (TUI/mgMS) (1)	Activité hémagglutinante (mcg) (2)
Pois "Frisson"		
- normal	9,40	5
- tanné	0,45	2500
HP	4,70	20
BP	2,60	20
BPT	0,86	156

(1) L'activité antitrypsique d'un aliment est exprimée en unités de trypsine inhibée dans les conditions du Laboratoire INRA-Nantes.

(2) L'activité hémagglutinante d'un aliment est la plus petite quantité de cet aliment qui provoque un début d'agglutination des globules rouges du sang de lapin.

L'efficacité de l'utilisation de l'azote mesurée par les coefficients de rétention (CR) et l'utilisation pratique (CUP), est satisfaisante pour les aliments TS, BP et BPT. Le tannage a eu tendance à augmenter l'azote fécal en raison des PDIA supplémentaires, mais la réduction significative de l'azote urinaire a favorisé la rétention. L'utilisation de l'azote de l'aliment HP a été la moins efficace : les pertes d'azote fécal et urinaire étant les plus élevées, notamment en période 2, les CR et CUP de l'azote ont été inférieurs de 3 à 4 points à ceux des 3 autres régimes. Le résultat médiocre de l'aliment HP peut être lié à une connaissance imparfaite des protéines du pois conduisant à une surestimation des PDI, ainsi qu'à un déséquilibre plus important en acides aminés soufrés. Le pois présente en effet, un déficit en méthionine dont l'action limitante a été observée sur de jeunes veaux ruminants (BURROUGHS et TRENKE, 1969) et les bovins en croissance (WILLIAMS et SMITH, 1964 ; FENDERSON et BERGEN, 1975). En revanche, la déficience du pois en tryptophane, facteur limitant de l'utilisation métabolique de l'azote chez le porc (HENRY *et al,* 1975 ; BOURDON et PEREZ, 1976) ne devrait pas avoir d'influence chez le jeune ruminant.

Conclusion

Les résultats obtenus lors du remplacement du tourteau de soja par le pois associé à du maïs et à l'urée dans les aliments concentrés pour le jeune veau d'élevage peuvent se résumer en 4 points :

- l'utilisation digestive des principaux nutriments de la ration a été assez peu influencée par l'introduction du pois. Les variations de digestibilité ont été plus dépendantes de l'évolution de la digestion après le sevrage et des différences d'adaptation digestive entre les animaux ;

- l'association du pois normal et de l'urée à une dose très moyenne a permis de limiter la part du protéagineux et de fabriquer un aliment simple (BP) qui a donné des gains de poids vif satisfaisants aussi bien avant (850 g/j) qu'après le sevrage (900 à 1000 g/j) ;

- l'utilisation métabolique de l'azote du pois tanné est apparue intéressante chez les veaux sevrés. Il reste cependant à préciser les conditions de tannage et à voir s'il est souhaitable d'utiliser un aliment de ce type dès avant le sevrage des veaux mâles ;

- l'ensemble de ces données ne constitue cependant qu'une première approche de l'utilisation rationnelle du pois protéagineux par le veau. D'autres essais de caractère très zootechniques devraient en effet tester la valeur de ces protéagineux offerts à des lots importants d'animaux contrôlés de la période de sevrage à l'âge de 5 à 6 mois. Par ailleurs, deux séries d'études nous paraissent mériter un développement particulier pour améliorer les conditions d'emploi des protéagineux par les jeunes ruminants : l'une concerne une meilleure connaissance de leurs protéines et de leur digestion, l'autre concerne l'étude approfondie de l'adaptation digestive et métabolique du veau aux environs du sevrage.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la Direction de la Production et des Echanges du Ministère de l'Agriculture pour le soutien des études sur l'utilisation des protéagineux, ainsi que Messieurs BERTHAUT, PICARD (INRA-Dijon) et *LENOBLE* (INRA-Lusignan) *pour la fourniture des protéagineux.*

Références bibliographiques

BOURDON D., PEREZ J.M., 1976. *Journées Recherche Porcine,* I.N.R.A.-I.T.P., 8, 61-88.

BURROUGHS W., TRENKLE H., 1969. Iowa St Univ., *A.S.R.,* 122.

CAZES J.P., VAN QUACKEBEKE E., 1976. *Journées Recherche Ovine et Caprine,* I.N.R.A.-I.T.O.V.I.C.

FAICHNEY G.I., 1972. *Aust. J. Agric. Res.,* 23, 859-860.

FAICHNEY G.I., DAVIES M.L., 1972. *Aust. J. Agric. Res.,* 23, 167.

FENDERSON C.L., BERGEN W.G., 1975. *J. Anim. Sci.,* 41, 1759-1766.

GIOVANNI R., 1975. *Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix,* I.N.R.A., 19, 15-22

GIOVANNI R., 1975. *Sciences Agronomiques* E.N.S.A. Rennes, 171-181.

GUILHERMET R., TOULLEC R., 1979. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.,* 19, n°3B

HENRY Y., BOURDON D., 1973. *Journées Recherche Porcine* I.N.R.A.-I.T.P., 5, 115-121.

HENRY Y., PION R., RERAT A., 1975. *Elevage,* n°39, 76-89.

I.N.R.A. 1978. *Alimentation des Ruminants,* INRA-Publ., Rte de St-Cyr 78 000 Versailles, 483-490.

LEUILLET M., 1977. *Perspectives Agricoles,* 8, 15-22.

MATHIEU C.-M., 1968. Mémoire E.N.S.A. Rennes.

MATHIOT D., 1973. *Bull. Techn. Inf.* n°281, 571-579.

MILLER E.L., 1972. *Proc. Nutr. Soc.,* 31, 27A.

NISHIMUTA J.H., ELY D.G., BOLING J.A., 1973. *J. Nutr.,* 103, 49-53.

REYNE Y., GARAMBOIS X., 1975. *Journées Recherche Ovine et Caprine,* I.N.R.A.-I.T.O.V.I.C., 384-391.

SCHARMA H.R., INGALLS I.R., Mc KIRDY J.A., 1972. *Can J. Anim. Sci.,* 52, 363-371.

TISSERAND J.L., 1973. *Journée sur l'Alimentation azotée des Ruminants,* I.N.R.A., 93-98.

TISSERAND J.L., 1977. *Compte-rendu "Protéagineux",* I.N.R.A.-E,N,S.A.A. Dijon

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) 21-30.

Intérêt de l'utilisation de réhydratants par voie orale et veineuse dans le traitement des diarrhées néonatales

C. DEMIGNE*, C. REMESY*, F. CHARTIER* et G. GARPIHAN**

avec la collaboration de P. LAMBY et C. BESSON

**Laboratoire des Maladies Métaboliques*
***E.D.E. du Puy-de-Dôme*

Les diarrhées néonatales constituent l'une des principales causes de mortalité chez de nombreuses espèces, notamment le jeune veau, le porcelet et le chevreau. Rappelons que ces diarrhées rendent compte, pour une large part, de la très forte mortalité infantile dans de nombreux pays du tiers monde. En ce qui concerne le veau, la mortalité consécutive aux diarrhées au niveau national se situerait vers 4-5 p.100. En fait, cette mortalité est très variable selon les races et le type d'élevage : la mortalité par diarrhées est sensiblement plus importante en élevage Salers (5 p.100 environ) qu'en élevage Charolais (3 p.100) où la diarrhée est traitée plus systématiquement. Par ailleurs, la mortalité peut être très élevée avec des veaux mâles de race laitière en raison de leur faible valeur qui décourage l'éleveur d'entreprendre un traitement un tant soit peu coûteux.

I. Origine des diarrhées

La diarrhée peut avoir une origine nutritionnelle (composition du lait, concentration, mode et fréquence d'administration) ; une diète d'un repas et la distribution en quantité modérée d'un lait adéquat permet, la plupart du temps, de rétablir la digestion normale dans l'intestin grêle et, par conséquent, dans le gros intestin.

Les diarrhées d'origine infectieuse représentent la plus grande partie des cas graves ; elles sont souvent difficiles à identifier dans la mesure où il existe sans doute divers facteurs ''de terrain'' ainsi que différents agents pathogènes (bactéries, virus, voire protozoaires).

A - Problème de la protection immunitaire

Chez le ruminant, le nouveau-né est dépourvu d'anticorps et ses défenses immunitaires au cours de la période néonatale dépendent de l'apport d'anticorps dans le colostrum. L'efficacité de cet apport dépend notamment de la précocité de l'ingestion du colostrum puisque l'absorption des anticorps n'est possible que pendant les premières heures de la vie.

Pour obtenir une bonne protection immunitaire, il faut d'une part que le colostrum ait une concentration suffisante en globulines et qu'il ait été absorbé suffisamment précocement (1ère tétée, 1 à 4 heures après la naissance) et si possible 3 tétées ou buvées le premier jour. Notons que le lait de la deuxième traite est déjà bien moins riche en globulines. Il en résulte d'une part qu'en allaitement maternel la vache ne doit pas être traite avant que le veau ait effectué au moins deux tétées, et d'autre part qu'en allaitement artificiel le veau doit recevoir ses deux ou trois premiers repas à partir du colostrum de la première traite.

Il existe bien d'autres mesures essentielles pour diminuer la morbidité des jeunes veaux telles que la nutrition des mères en fin de gestation, les conditions d'hygiène au vêlage (le veau étant dépourvu de défenses immunitaires avant l'administration de colostrum), et les conditions d'hygiène des locaux d'élevage. Mais ces problèmes dépassent le cadre de cet exposé.

B - Les agents pathogènes

Parmi les bactéries, les entérobactéries du type ''*Escherichia coli*'' sont les plus fréquemment rencontrées surtout chez les très jeunes animaux. Toutefois, pour être effectivement pathogènes, les souches d'*E. coli* doivent être capables de synthétiser des toxines agissant au niveau du tube digestif (entérotoxines) ainsi que des structures d'attachement à la paroi intestinale de l'hôte (type antigène K 99). Des virus constitueraient une seconde cause de diarrhées, deux types seraient impliqués : rotavirus et coronavirus. Les infections mixtes (*E, coli* + virus) se rencontrent également et peuvent être particulièrement graves.

A côté des principaux agents cités, des cas de diarrhées dues à des *Salmonella, Pasteurella* ou *Cryptosporidia,* ou d'autres bactéries pathogènes, ont aussi été rapportés par les microbiologistes.

Les bactéries telles qu'*E. coli* agissent sur l'intestin par l'intermédiaire d'entérotoxines qui provoquent une sécrétion accrue d'eau et une sécrétion nette de sodium ; pour l'instant on connaît encore assez mal le mode d'action de ces entérotoxines et donc les possibilités de s'opposer à leur action.

Les virus semblent agir en endommageant les villosités intestinales par prolifération à l'intérieur des cellules épithéliales : la muqueuse peut alors être érodée avec la présence de cellules épithéliales immatures, déficientes du point de vue digestion et réabsorption. En fait, on connaît mal la relation existant entre les destructions cellulaires occasionnées par les virus et les perturbations du métabolisme hydrominéral.

II. Classification des diarrhées

Ce point est essentiel puisqu'il semble que les conséquences pathologiques et parfois la thérapeutique varient en fonction des différents types de diarrhée.

En fait, il est souhaitable de distinguer les cas de diarrhées chez les veaux âgés de moins de 6 jours de ceux observés chez les veaux plus âgés.

- chez les veaux diarrhéiques durant la première semaine, les fécès sont souvent très liquides et la vitesse de déshydratation des veaux très rapide. Les agents pathogènes seraient essentiellement des colibacilles et la réhydratation des veaux donne des résultats particulièrement satisfaisants ;
- chez les veaux plus âgés, il existe par contre différents types de diarrhées qu'il est difficile, à l'heure actuelle, de classer précisément. Toutefois, d'après VALLET*, l'émission de fécès colorés et présentant des éléments mucoïdes visqueux pourrait être le signe d'une atteinte virale et de l'excrétion de mucines intestinales après destruction des entérocytes par les virus. Ce type de diarrhées, comme celles présentant un aspect franchement liquide, nécessitent une réhydratation par voie orale afin d'éviter le stade de déshydratation avancée.

Il existe par contre, chez les veaux plus âgés, un type de diarrhée bien particulière : les fécès sont décolorés, d'aspect plâtreux, les animaux n'ont pas perdu leur appétit, ils ne sont pas déshydratés et présentent souvent une démarche ''irrégulière''. Il existe parfois des graisses non digérées dans les fécès. Ce type de veau ne nécessite pas de réhydratation au sens strict du terme. L'apparition des diarrhées ''plâtreuses'' est peut-être favorisée par un excès de matières grasses du lait. Toutefois cela ne semble pas un facteur déterminant. Par contre, il est bien établi qu'un lait très riche en matières grasses, en particulier en allaitement artificiel, peut ne pas être bien toléré par le veau.

* équipe sanitaire, ITEB

III. Les perturbations associées aux diarrhées

A - Les pertes au niveau du tube digestif et les conséquences de la déshydratation

Il semble établi que les perturbations affectent principalement l'intestin grêle où s'effectue une sécrétion considérable d'eau et d'électrolytes. Au niveau du côlon, la réabsorption d'eau et de sodium peut augmenter mais elle ne peut suffire à compenser les pertes issues de l'intestin grêle. De plus, il existe des pertes extrêmement élevées en sodium (Na) (× 10 à 20 fois) et en chlorures (Cl) mais aussi en potassium (K) et, dans une moindre mesure, en magnésium (Mg). Par ailleurs, bien qu'elles soient plus difficiles à quantifier, il existe également des pertes digestives en bicarbonates.

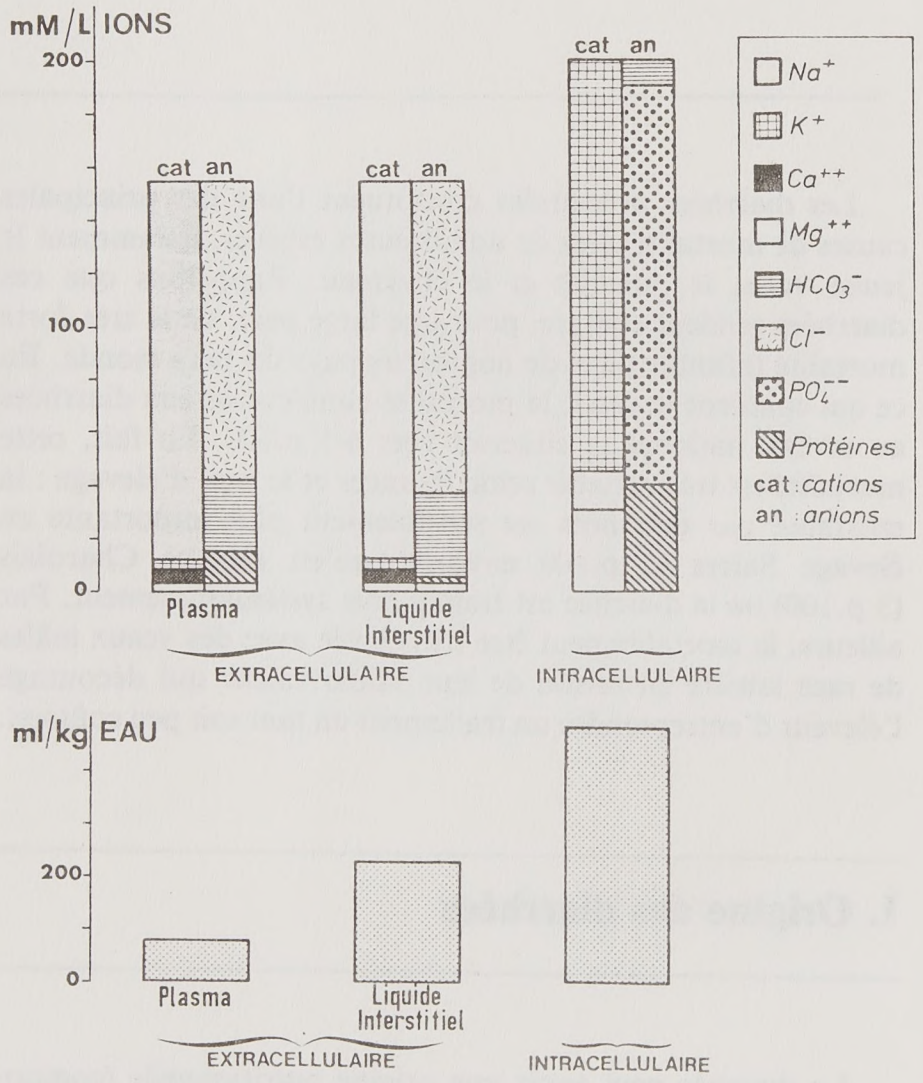
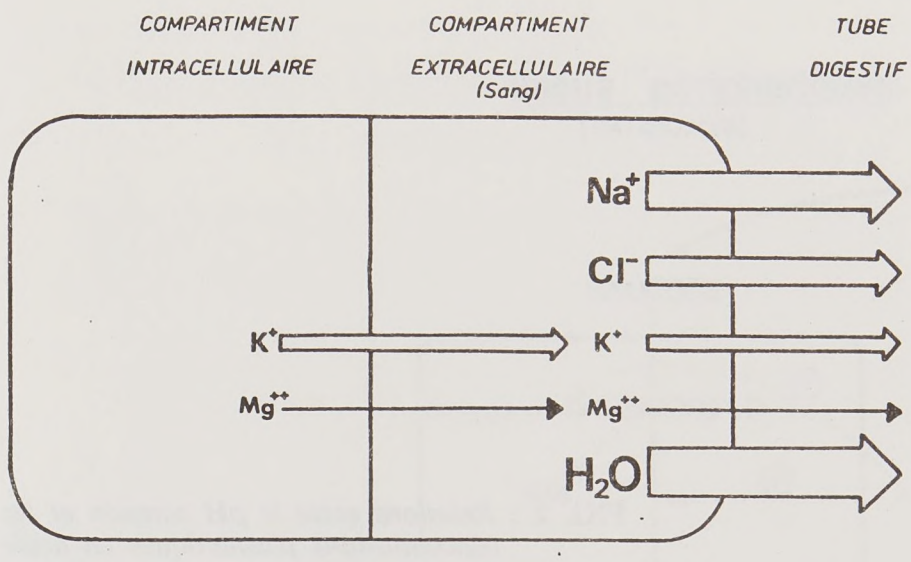


FIG. 1 : *Composition ionique des liquides corporels et répartition de l'eau totale chez un veau d'environ 40 kg.* Le sodium et le chlorure sont localisés presque exclusivement dans les compartiments extracellulaires alors que le potassium et le magnésium sont des cations principalement intracellulaires.

On voit donc que les pertes en minéraux affectent le compartiment extracellulaire (Na, Cl) mais aussi le compartiment intracellulaire (K, Mg) avec des conséquences métaboliques très importantes. De tous les compartiments liquidiens de l'organisme, le compartiment extracellulaire est le plus touché (diminution de 30 p.100 pouvant aller jusqu'à 40 p.100 pour le volume plasmatique, dans le cas de reproduction expérimentale avec un coronavirus). Ceci peut se traduire par une augmentation de près de 40 p.100 de l'hématocrite. L'état d'hydratation du compartiment intracellulaire est peu modifié. Toutefois, les pertes de potassium peuvent perturber considérablement le métabolisme cellulaire (cf. sch. 1).



SCH. 1 : *Modalités des pertes hydriques et électrolytiques au cours des diarrhées néonatales.*

L'eau est surtout perdue à partir du compartiment extracellulaire dont le volume diminue (hypovolémie). Il faut noter que le potassium passant dans le tube digestif provient du compartiment intracellulaire, mais doit transiter par le sang. La même situation se rencontre lorsqu'on veut restituer du potassium à l'organisme ; or, il faut absolument éviter une élévation excessive du potassium extracellulaire qui peut être toxique, en particulier pour le coeur.

La déshydratation extracellulaire entraîne une limitation du volume sanguin circulant (choc hypovolémique) avec, pour conséquence :

- une diminution de la diurèse et une élévation de l'urée sanguine,
- une irrigation diminuée des tissus périphériques (avec hypothermie, notamment au niveau cutané) et une oxygénation réduite de ces tissus dont le métabolisme conduit à la formation de quantités importantes d'acide lactique.

B - Les perturbations du métabolisme minéral

Même si les concentrations plasmatiques en sodium et en chlorures sont assez peu modifiées (il peut y avoir une légère diminution), il existe néanmoins, du fait de la diminution du volume sanguin, un très important déficit global en ces deux éléments. Le potassium plasmatique tend à augmenter : cette élévation est due à la fuite de potassium hors des cellules où il est très abondant. Cette élévation plasmatique du potassium est accompagnée de pertes au niveau intestinal, c'est-à-dire que, globalement, du potassium passe du compartiment intracellulaire dans les fécès. Parallèlement, le magnésium, qui est aussi un cation essentiellement intracellulaire, s'élève de façon très nette dans le plasma au cours des diarrhées. Là encore, il existe des pertes de magnésium intracellulaire, mais sans commune mesure avec celles du potassium.

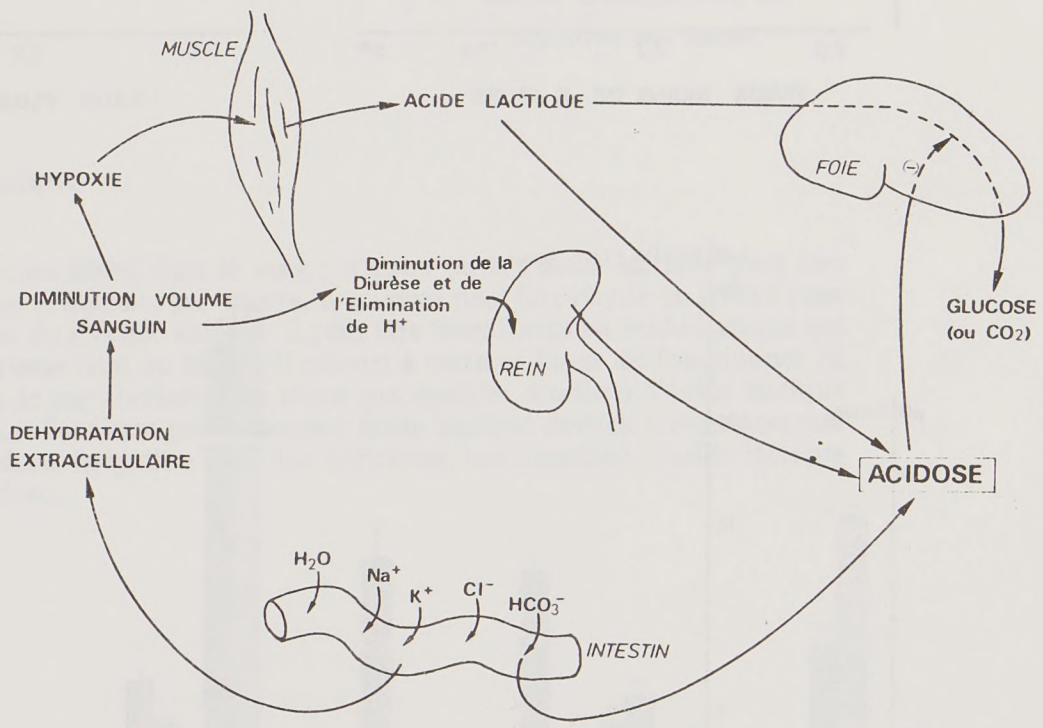
L'acidose (baisse du pH sanguin) favorise la fuite du potassium et du magnésium cellulaires : toutefois, il est intéressant de noter que les perturbations du taux plasmatique de ces deux ions sont beaucoup plus sensibles chez les jeunes veaux que chez les veaux plus âgés. Les perturbations des gradients de potassium et de sodium de part et d'autre de la membrane cellulaire, conduisent à des troubles qui peuvent être très graves au niveau du myocarde ou au niveau musculaire (état général de faiblesse).

C - Le problème de l'acidose et du maintien de la glycémie

Lorsque la déshydration devient importante, le pH sanguin diminue. Rappelons que le pH sanguin normal est de l'ordre de 7,40 et le seuil d'acidose mortelle de 6,80 environ. Les animaux fortement diarrhéiques présentent fréquemment des pH de l'ordre de 7,10, c'est-à-dire des acidoses très graves. Parallèlement, le bicarbonate, qui constitue un des principaux anions susceptibles de neutraliser l'acidité plasmatique, décroît considérablement (de 27 mEq/l vers 10 mEq/l).

Quelles sont les causes de cette acidose ? (cf. schéma 2)

- les pertes en bicarbonates, notamment au niveau du tube digestif,
- l'accumulation d'acides organiques dans l'organisme (en particulier acide lactique),
- ou la synergie des 2 phénomènes.



SCH. 2 : *Mécanisme de l'apparition de l'acidose sanguine*

L'état d'acidose se traduit par une diminution marquée du pH sanguin (pH normal : 7,40 ; acidose pH inférieur à 7,20 voire proche de 7,00 dans les cas très graves). On voit que de nombreux facteurs favorisent l'acidose au cours des diarrhées :

- les pertes de bicarbonate (HCO_3-) au niveau du tube digestif.
- la diminution du volume sanguin avec augmentation de la production d'acide lactique d'une part et diminution de l'excrétion rénale d'acidité.

De plus, chez les veaux les plus jeunes qui présentent des élévations très fortes du lactate sanguin, l'acidose tend à s'accentuer du fait qu'elle diminue l'utilisation de l'acide lactique par le foie.

Les veaux plus âgés présentent des élévations moins importantes du lactate sanguin.

Nos résultats chez le veau suggèrent que les origines de l'acidose sont très différentes : toutefois, on rencontre plus fréquemment des acidoses lactiques chez les plus jeunes animaux ou dans les cas très avancés de déshydratation (cf. fig. 2 et 3).

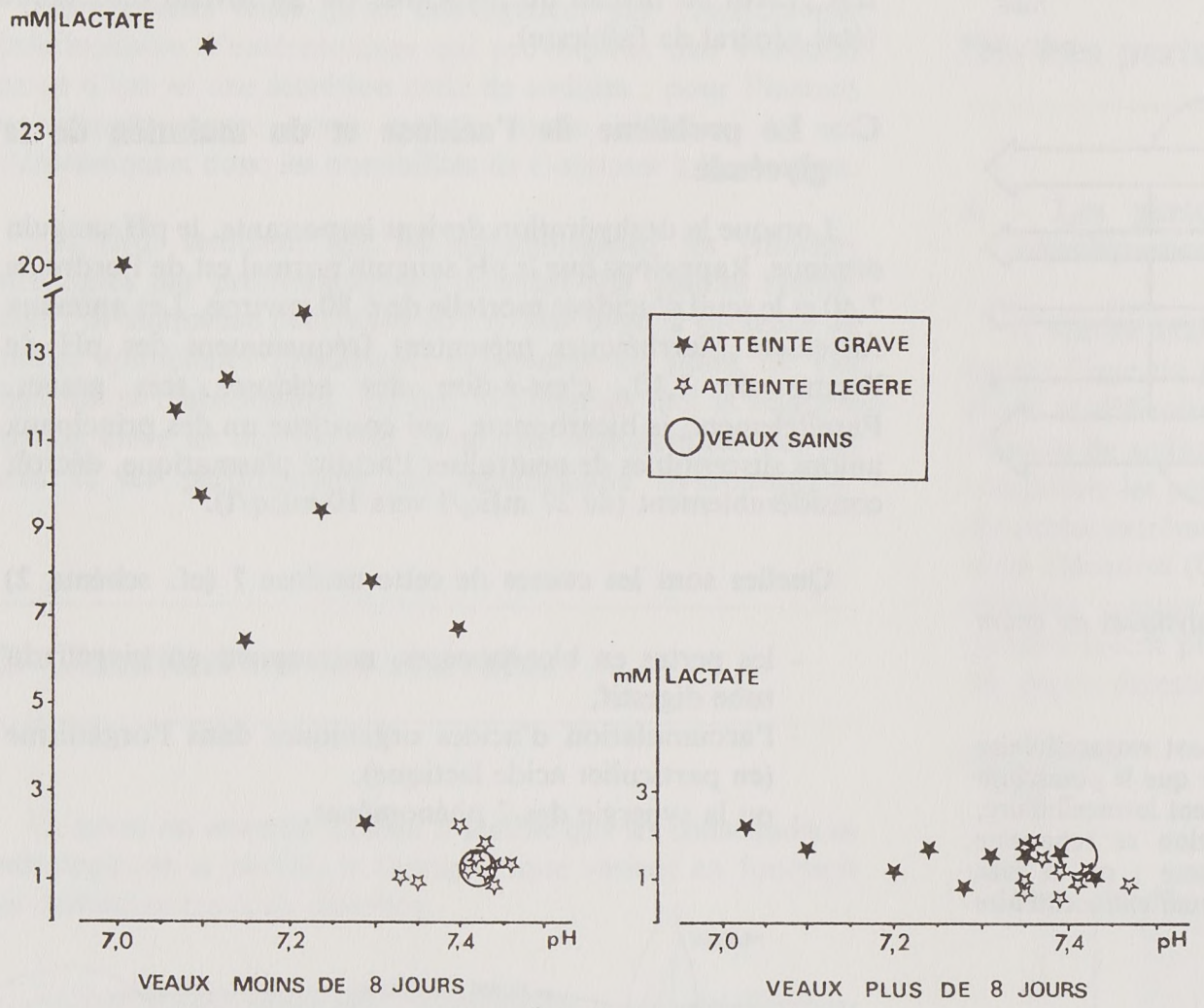


FIG. 2 : *Relations entre le pH sanguin et les concentrations plasmatiques en acide lactique chez des veaux sains ou diarrhéiques âgés de 1 à 5 jours ou de 6 à 21 jours*

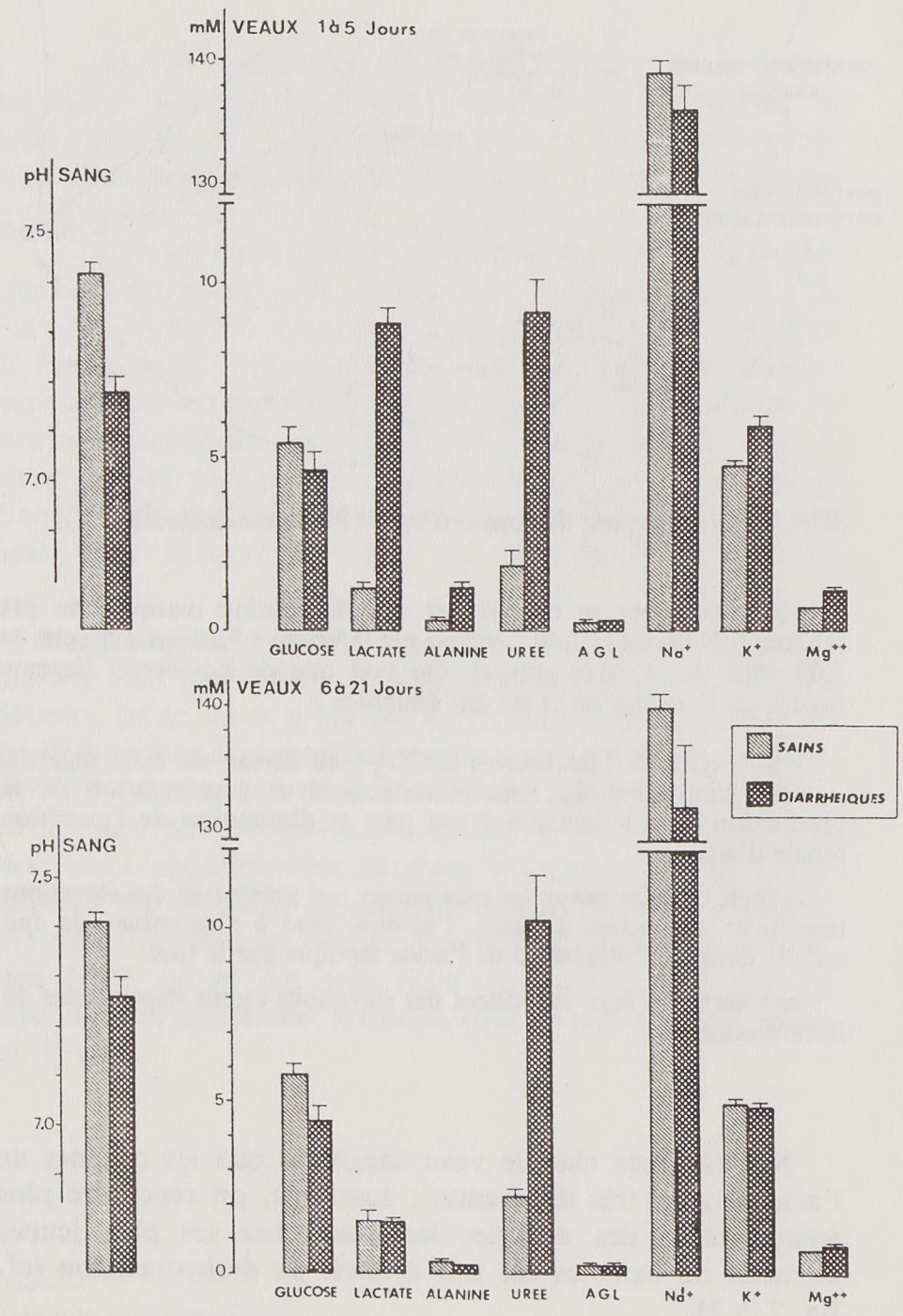
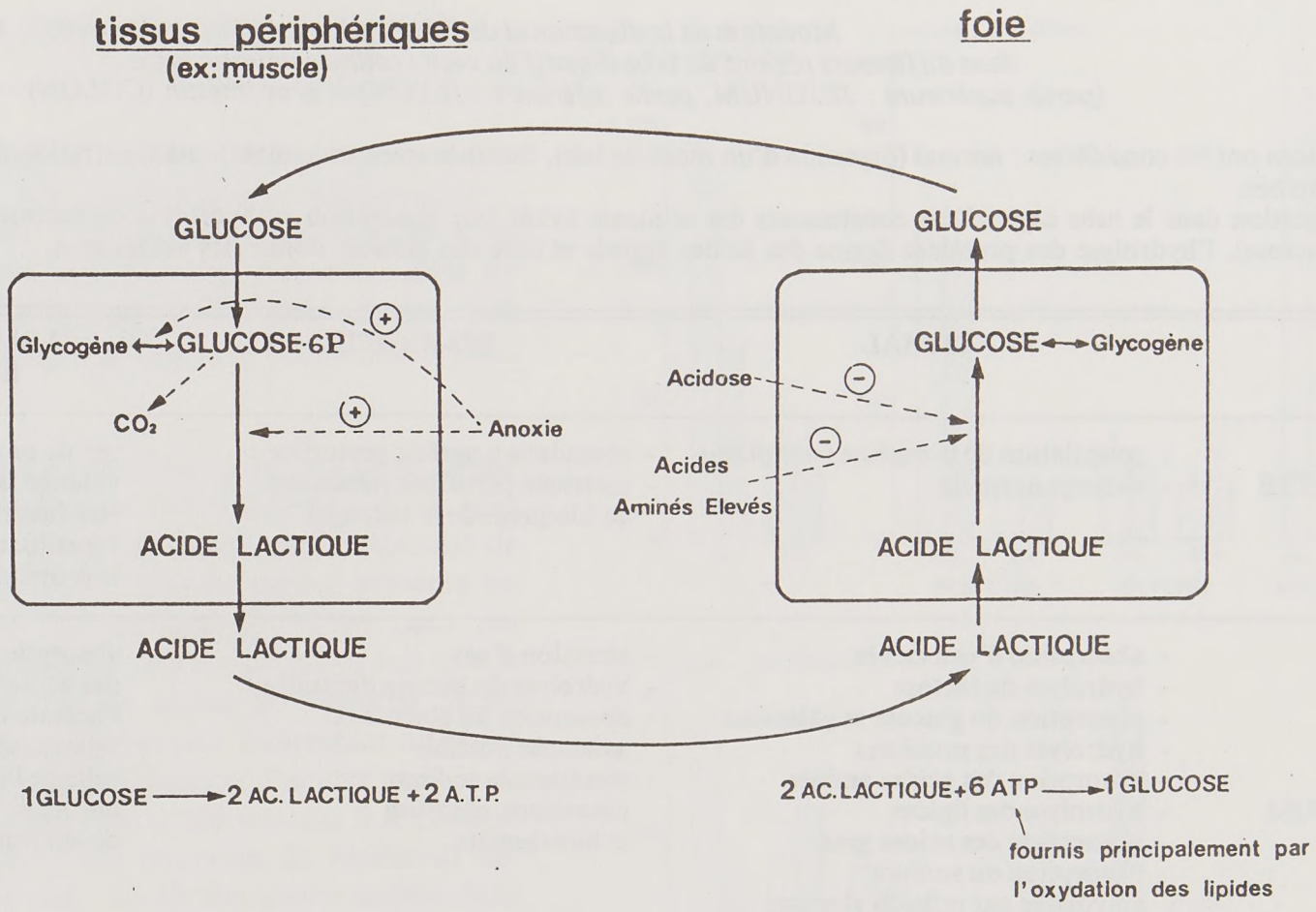


FIG. 3 : *Variations des métabolites et des minéraux plasmatiques ainsi que du pH sanguin chez des veaux sains ou diarrhéiques. On observe que les hyperurémies se rencontrent chez les veaux diarrhéiques quel que soit leur âge, alors que les hyperlactatémies affectent surtout les jeunes veaux* (cf. fig. 4) *âgés de moins de 5 jours, de même que les hypermagnésémies et les hyperkaliémies.* AGL : *acides gras libres, témoins de l'utilisation des réserves graisseuses qui est très réduite chez les veaux diarrhéiques.*



SCH. 3 : *Le cycle glucose-acide lactique*

Dans le foie le glycogène peut fournir du glucose qui sera libéré dans le sang ; d'autre part, l'acide lactique peut être transformé en glucose, et le cas échéant en glycogène. Dans le muscle, par contre, le glucose peut être oxydé ou stocké sous forme de glycogène, mais le glycogène ne peut pas redonner du glucose alors qu'il peut être transformé en acide lactique qui sera libéré dans le sang. L'intérêt de ce cycle pour l'organisme tient au fait qu'il permet à certains tissus de fonctionner en présence d'une oxygénation réduite, ceci à condition que le métabolisme des tissus susceptibles d'utiliser l'acide lactique (foie, coeur...) reste relativement normal. Lorsque la masse des tissus producteurs d'acide lactique devient très importante ou (et) que le fonctionnement hépatique est perturbé (acidose, irrigation sanguine déficiente, intoxication), l'acide lactique tend à s'accumuler dans l'organisme et à renforcer l'acidose.

La glycémie se maintient à des valeurs pratiquement normales au cours des premiers stades de la diarrhée. Toutefois, lorsque l'acidose et la déshydratation persistent et s'aggravent, il peut apparaître des hypoglycémies qui sont dues à une transformation excessive du glucose en lactate (cf. sch. 3 et fig. 3).

D - Le problème de l'élévation de l'urée sanguine

Il est maintenant établi que les diarrhées se traduisent par des taux d'urée sanguine très élevés (parfois × 5 ou plus). Cette élévation de l'urémie est due, d'une part à une utilisation importante des protéines corporelles, d'autre part à une forte diminution de l'élimination rénale de l'urée. Il semble d'ailleurs que l'élévation de l'urémie soit une des modifications les plus précocement observables et, par ailleurs, la plus difficile à faire disparaître totalement. L'urée est considérée généralement comme un composé peu toxique , toutefois des travaux récents sur le métabolisme azoté au cours des déficiences rénales suggèrent que les états hyperurémiques favorisent une dégradation excessive des protéines musculaires par l'intermédiaire de l'accumulation d'un certain nombre de composés toxiques provenant de la dégradation des acides aminés.La récupération après réhydratation de ces états hyperurémiques est parfois très lente.

IV. Les principes de la réhydratation

A - Choix de la voie orale et parentérale

La réhydratation par voie orale semble, à l'heure actuelle, la plus intéressante pour l'éleveur, la réhydratation par voie veineuse n'étant nécessaire que dans les stades avancés de la déshydratation.

En premier lieu, un réhydratant doit être administré précocement. En effet, après un certain seuil de déshydratation, paradoxalement l'animal diarrhéique ne veut plus boire alors que dans les premiers stades de la diarrhée l'animal a une soif accrue pour compenser ses pertes. Cependant, le lait convient très mal puisque, la plupart du temps, il entretient le

TABLEAU I

Modalités de la digestion et de l'absorption dans différentes régions du tube digestif du veau : caillette, intestin grêle (partie supérieure : JEJUNUM, partie inférieure : ILEON) et gros intestin (COLON)

Trois situations ont été considérées : normal (digestion d'un repas de lait), diarrhée (sans traitement), administration de réhydratant par voie orale en cours de diarrhée.
Hydrolyse : digestion dans le tube digestif des constituants des aliments avant leur absorption : l'hydrolyse du lactose donne deux sucres simples (glucose et galactose), l'hydrolyse des protéines donne des acides aminés et celle des graisses donne des acides gras.

	NORMAL	DIARRHEE	ADMINISTRATION DE REHYDRATANT
CAILLETTE	- coagulation de la caséine (+ lipides) - vidange normale	- coagulation parfois perturbée - motricité perturbée (tendance au bloquage de la vidange)	- pas de problème de coagulation - vidange facile (pouvant être favorisée par certains constituants tels que le propionate)
JEJUNUM	- absorption d'eau élevée - hydrolyse du lactose - absorption du glucose et galactose - hydrolyse des protéines - absorption des acides aminés - hydrolyse des lipides - absorption des acides gras - absorption du sodium (favorisée par celle du glucose, du galactose et celle des acides aminés) - absorption du potassium	- sécrétion d'eau - hydrolyse du lactose diminuée - absorption du glucose et galactose possible - sécrétion de sodium, potassium, chlorure et bicarbonate	- absorption du glucose des acides aminés et de l'acétate favorisant celle du sodium donc celle de l'eau absorption de potassium et de chlorure
ILEON	- activités hydrolytiques et absorptives plus faibles - absorption de chlorure (avec celle du sodium)	- sécrétion d'eau et d'électrolytes	- absorption de chlorure, d'acétate et de sodium (---absorption d'eau)
COLON	- métabolisme de la flore bactérienne (---production d'acides gras volatils) - absorption d'acides gras volatils, susceptibles de favoriser celle de sodium, et d'eau	- flore et motricité perturbées - absorption de sodium et d'eau augmentée, mais ne pouvant compenser les pertes au niveau de l'intestin grêle	- absorption possible d'acétate (si l'absorption dans l'intestin grêle n'a pas été totale) pouvant augmenter celle de sodium et d'eau

phénomène diarrhéique (prolifération microbienne et mauvaise absorption des constituants du lait) ; de plus, dans certains cas, il peut y avoir des problèmes de vidange de la caillette qui nécessitent la diète lactée la plus complète. On voit donc qu'un réhydratant doit être assimilable, en dépit des perturbations du fonctionnement du tube digestif qui rendent la digestion du lait particulièrement difficile (tabl. 1).

La réhydratation par voie orale est donc d'autant plus efficace qu'elle est entreprise rapidement ; de plus, son action doit être énergique afin que l'animal puisse reprendre le plus rapidement possible l'allaitement normal. Rappelons que la déshydratation devient très grave lorsqu'elle dépasse 5 p.100 du poids corporel, c'est-à-dire qu'au stade de 5 p.100 de déshydratation le veau a perdu par les fécès non seulement une partie de l'eau provenant du lait absorbé mais aussi 2 à 3 litres d'eau corporelle. Cette eau a été perdue en même temps que les divers électrolytes (sodium, potassium, chlorure, bicarbonate). Le principe de la réhydratation est donc de compenser entièrement ces pertes. C'est pourquoi l'éleveur doit apprendre à reconnaître les signes de la déshydratation : essentiellement à l'enfoncement de l'oeil dans l'orbite mais aussi à la souplesse du pli cutané, à la température des extrémités et enfin à la tension de la veine jugulaire. Lorsque les signes de déshydratation sont très accentués, le veau refuse de boire et il faut obligatoirement pratiquer la réhydratation par voie veineuse.

La réhydratation par voie orale doit donc, pour être assurée d'un succès complet, être pratiquée dès l'apparition des premiers signes de la diarrhée, par conséquent avant le début de la déshydratation ; d'ailleurs certains de ces symptômes (extrémités froides) apparaissent très rapidement. En fait, il faut souligner que la réhydratation et l'absorption d'électrolytes (principalement le sodium) sont des phénomènes extrémement liés. En effet, dans l'intestin grêle; l'absorption de l'eau suit celle du sodium et de divers solutés tels que le glucose et les acides aminés.

Or, il a été montré que l'absorption de sodium était favorisée par le glucose ainsi que par les acides aminés : c'est pourquoi de nombreuses formules proposent la combinaison sodium-glucose-acides aminés qui a d'ailleurs donné de bons résultats dans le traitement du choléra. En fait, il faut distinguer les réhydratants comprenant exclusivement du glucose, des acides aminés, des acides organiques et des minéraux, des autres préparation content des antibiotiques et divers extraits végétaux (type sachet-repas) dont l'utilisation n'est pas souhaitable dans les cas de déshydratation rapide.

V. Composition des formules réhydratantes

Le glucose (ou dextrose) est contenu dans la plupart des réhydratants disponibles. Sa présence est indispensable ; toutefois il n'est pas exclu que des quantités modérées de lactose puissent encore être digérées dans l'intestin grêle de veaux diarrhéiques. Le galactose serait sans doute très intéressant, associé au glucose, mais son coût rend son emploi problèmatique.

A côté du glucose, on trouve fréquemment un acide aminé qui est généralement la glycine, essentiellement pour des raisons de prix de revient. Cet acide aminé semble absorbé de façon presque aussi rapide que le glucose mais il présente un faible intérêt du point de vue énergétique. C'est pour ces raisons que d'autres acides aminés ont été proposés tels que le glutamate de sodium : cet acide aminé est absorbé moins rapidement que la glycine mais il est plus intéressant du point de vue énergétique. Toutefois, l'utilisation d'acides aminés en association avec le glucose pose des problèmes car il se produit des réactions entre ces composés (réaction de Maillard) qui altèrent le produit ; d'autre part, le rôle des acides aminés dans l'augmentation de l'absorption du sodium n'est certainement pas fondamental. En fait, l'efficacité de ces formules dépend très étroitement du principal anion associé au sodium. L'anion le plus intéressant sera celui qui favorise l'absorption du sodium dans la zone où elle est la plus intense (jéjunum) mais qui peut néanmoins stimuler cette absorption à tous les niveaux du tube digestif : les formes anioniques des acides gras volatils (acétate surtout, propionate) satisfont à ces conditions. De plus, ce type d'anion est métabolisable avec production d'énergie et fournit indirectement du bicarbonate.

La figure 4 montre l'effet de l'acétate comparé à celui du chlorure lorsqu'il est incorporé au sein d'une formule de type glucose-glycine-sel de sodium. Ces expériences étaient effectuées sur des veaux sains âgés de 4 à 8 jours, en utilisant des anses jéjunales et iléales ligaturées. Ces expériences soulignent le rôle particulièrement efficace de l'acétate sur l'absorption du sodium dans le jéjunum par rapport au chlorure qui est relativement peu actif à ce niveau. Dans l'iléon, l'acétate présente la même efficacité que le chlorure dont l'absorption la plus intense (et qui favorise celle du sodium) a précisément lieu à ce niveau. Dans la pratique, il est bien évident que l'acétate ne doit pas entièrement remplacer l'apport de chlorure, en raison des pertes au cours des diarrhées. L'apport de sodium uniquement sous forme de chlorure présente un inconvénient dans la mesure où le rapport Na/Cl est de 1 alors qu'il est normalement de 1,4 dans le compartiment extracellulaire.

Le propionate présente des propriétés voisines de l'acétate du point de vue absorption d'eau et de sodium ; par contre il présenterait des effets favorables en ce qui concerne la vidange de la caillette, il possède des propriétés bactériostatiques, de plus sa métabolisation aboutit à la synthèse de glucose.

Il existe de très grandes variations dans les formules réhydratantes en ce qui concerne le pH des réhydratants : s'il est généralement admis que les réhydratants trop alcalins sont peu intéressants (mauvaise tolérance gastrique, prolifération microbienne due au relèvement du pH), de nombreux

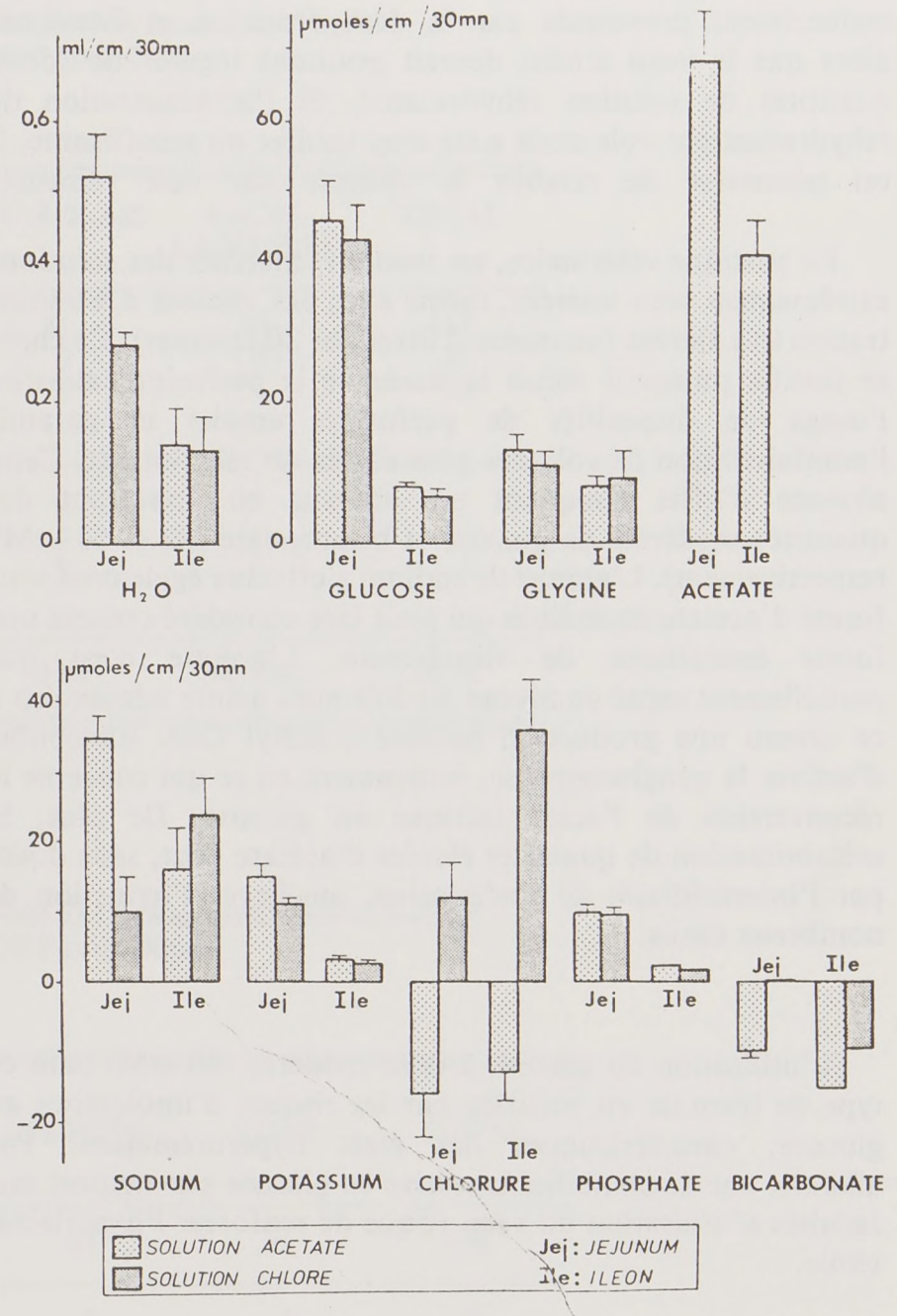


FIG. 4 : *Absorption d'eau et de solutés à partir d'anses d'intestin grêle supérieur* (jéjunum) *ou inférieur* (iléon) *chez des veaux âgés de 4 à 8 jours.*

L'absorption a été étudiée en comparant deux formules à base de glucose-acide aminé-sodium différant par la nature du principal anion acétate ou chlorure. Les concentrations de ces formules étaient (en mmoles/l) : glucose 80, glycine 20, sodium 80, potassium 20, phosphate 15 et acétate ou chlorure 80. Le pH était ajusté à 6,8 et l'osmolarité à environ 300 mOsm/l.

réhydratants sont souvent très acides (jusqu'à pH 4), cette acidité étant, de plus, apportée par des acides fixes (non métabolisables), cette charge acide devra être neutralisée par le veau alors que celui-ci est souvent en état d'acidose plus ou moins accentuée. Il apparaît donc indispensable d'utiliser des formules à pH proche de la neutralité, l'optimum semblant se situer vers pH 6.0-6.5 ; d'autre part, il est souhaitable qu'une large part de cette acidité soit présente sous une forme métabolisable.

Traitements par voie veineuse

Il semble bien que lorsque le degré de déshydratation devient proche de 10 p.100, la prise de liquide par le veau soit

très perturbée, sans doute en relation avec les troubles endocriniens provoqués par la déshydratation et l'acidose, alors que le veau atteint devrait pourtant ingérer de fortes quantités de solution réhydratante. Si l'administration de réhydratant par voie orale a été trop tardive ou insuffisante, il est nécessaire de rétablir la volémie par voie veineuse.

En pratique vétérinaire, on tend à rechercher des solutions extrêmement bien tolérées, même avec des vitesses d'administration très élevées (au moins 2 litres par 30 minutes). Ce choix se justifie puisqu'il réduit la durée de la perfusion, autorise l'usage de dispositifs de perfusion simples et garantit l'administration de volumes plus élevés de réhydratant. Cette absence d'effet choquant est obtenue en apportant des quantités modérées de glucose et bicarbonate (60 et 50 mM* respectivement). L'apport de sodium s'effectue également sous forme d'acétate de sodium qui peut être considéré comme une forme énergétique de bicarbonate. L'acétate n'est que partiellement capté au niveau du foie mais assure néanmoins à ce niveau une production notable d'acétyl CoA susceptible d'activer la néoglucogenèse, notamment en ce qui concerne la reconversion de l'acide lactique en glucose. De plus, la métabolisation de quantités élevées d'acétate peut, sans doute par l'intermédiaire de l'adénosine, améliorer l'irrigation de nombreux tissus.

L'utilisation du glucose à dose modérée (60 mM) dans ce type de formule est justifiée par les risques d'intolérance au glucose, caractéristiques des états hyperurémiques. Par ailleurs, une disponibilité excessive en glucose par rapport aux facultés d'utilisation du veau risque de renforcer l'hyperlactatémie.

L'utilisation de bicarbonate de sodium est intéressante en raison de son effet alcalinisant immédiat, mais à dose modérée (50 mM) puisque cet effet est relayé par la métabolisation de l'acétate et du glutamate. L'administration de fortes doses de bicarbonate, avec parfois passage à l'alcalose, présente de nombreux inconvénients : élévation brutale de la pression partielle en CO_2 (PCO_2), perturbations des échanges respiratoires, stimulation de la production intracellulaire de lactate, voire excrétion de HCO_3^- vers la lumière intestinale susceptible de gêner la réhydratation par voie orale.

De plus, l'apport équilibré de potassium, en même temps que celui de sodium, permet une meilleure rétention du sodium dans l'organisme, en particulier au niveau rénal (maintien de la sécrétion d'aldostérone).

Les possibilités de restauration du potassium intracellulaire sont très limitées par voie veineuse, en raison des manifestations toxiques associées aux hyperkaliémies plasmatiques. Avec des perfusions rapides, le potassium ne doit pas être administré à plus de 8 mM, même si la sécrétion d'insuline (stimulée par le glucose) et le relèvement du pH favorisent la pénétration du potassium dans les cellules. Il est probable que la rapidité de récupération après une atteinte diarrhéique est liée, pour une large part, à celle de la reconstitution du ''pool'' intracellulaire de potassium.

* mM : les concentrations sont désormais exprimées en mmoles/litre (formulation abrégée : mM) au lieu de grammes/litre.

L'efficacité et la tolérance de ces formules sont liées au fait que le sodium est apporté pour une large part sous forme de chlorure et non pas uniquement sous forme d'anions labiles tels que le bicarbonate.

Il faut donc souligner que la réhydratation par voie orale doit relayer aussi rapidement que possible la réhydratation par voie veineuse. En fait, ces deux types de réhydratants ne sont pas interchangeables mais complémentaires et correspondent à des stades différents de traitement.

Applications

Un réhydratant INRA par voie orale a été testé sous forme d'une poudre à dissoudre dans 2 litres d'eau tiède. Plus de 10.000 doses ont été distribuées auprès d'éleveurs, que ce soit en collaboration avec les EDE du Puy-de-Dôme et du Cantal ou les praticiens. Les résultats étaient recueillis sur des fiches de renseignements.

Sur 800 veaux diarrhéiques traités au cours de la saison 79-80, pour lesquels ont été enregistrés les principaux résultats (quantité de réhydratant administrée, degré de déshydratation, recours aux perfusions veineuses, mortalité, etc...), on a enregistré une mortalité inférieure à 5 p.100 et 85 p.100 de guérison avec le traitement par voie orale seul (4 à 6 litres de réhydratant par jour). Toutefois, sur les 15 p.100 ayant présenté des rechutes, le recours à la réhydratation par voie veineuse n'a pas été systématique. A l'heure actuelle (résultats saison 80-81, non encore entièrement dépouillés), la formule réhydratant améliorée et simplifiée (utilisation d'un seul sachet) donne des taux de guérisons légèrement supérieurs à 90 p.100, sans tenir compte des cas de mortalité qui ne sont pas dûs entièrement aux diarrhées.

Sur ces 800 veaux, 202 appartenaient à des élevages suivis techniquement par l'EDE du Puy-de-Dôme, et dont voici les résultats :

Ces élevages étaient situés dans deux régions : le Cézallier-Sancy où la race Salers prédomine (élevage mixte lait-viande essentiellement), et la région des Combrailles, plus orientée vers la production de viande, avec l'utilisation de la race Charolaise.

Il s'est avéré que près de 85 p.100 des maladies apparaissaient dans les dix premiers jours qui suivent la naissance des veaux. Les plus gros problèmes de diarrhées néonatales des veaux sont de plus concentrés au mois de mars, période où la concentration des animaux est à son maximum et où s'ajoute l'effet des insuffisances ou des carences dans l'alimentation des mères. Le tableau 2 montre que le taux moyen de réussite de la réhydratation par voie orale avoisine 90 p.100 et ceci quelle que soit la race considérée.

La réussite de la réhydratation par voie orale est liée à une intervention précoce de l'éleveur (tabl. 3) ; de plus, il ne faut pas hésiter à multiplier le nombre de buvées dans les premiers stades de la diarrhée et à donner des quantités importantes de réhydratant (pouvant dépasser 10 litres au cours du traitement) avant de faire reprendre les repas de lait.

TABLEAU 2

Résultats de la réhydratation par voie orale
(saison 70-80) résultats EDE Puy-de-Dôme

	SALERS	CHAROLAIS	RACES LAIRIERES	TOTAL
GUERISONS	122	31	30	183
dont : - avec rechutes	17	0	6	23
- avec recours aux perfusions	9	2	1	12
MORTS - avec perfusions	6	0	1	7
- sans perfusions	4	2	1	7
- pour autres raisons que diarrhées	4	0	0	4
TAUX DE REUSSITE	89,7 %	94 %	93,7 %	91 %

TABLEAU 3

Influence de l'état de déshydratation sur l'efficacité de la réhydratation par voie orale
(Saison 79-80) résultats EDE Puy de Dôme

ETAT Etat de déshydratation au l AU commencement du traitement	FAIBLE	MOYEN	FORT	TOTAL
Nombre total de veaux traités	100	65	31	196
Nombre de morts	4	7	5	16
TAUX DE REUSSITE	96 %	89,2 %	83,9 %	91,8 %

Ce fort taux de réussite est donc très encourageant. De meilleurs résultats pourraient encore être obtenus si les éleveurs étaient entièrement sensibilisés à ces problèmes, ce qui conduirait à une meilleure surveillance des troupeaux, évitant ainsi souvent aux veaux une déshydratation sévère qui peut être irréversible. L'administration de réhydratant chez les veaux de vaches allaitantes est évidemment la plus délicate. Dans la mesure ou il n'est pas possible de faire boire le réhydratant au seau, il est nécessaire d'administrer le réhydratant à l'aide d'un dispositif muni d'une tétine. Par ailleurs, il est souvent impossible de séparer totalement le veau de la mère alors qu'il serait indispensable d'empêcher le veau de consommer du lait, et cela aggrave généralement la diarrhée. En pratique, le fait de faire boire des quantités aussi élevées que possible de réhydratant avant de laisser le veau aller sous sa mère permet de réduire la quantité de lait consommée par le veau diarrhéique.

Enfin, ce type de réhydratant présente un avantage par rapport aux autres réhydratants : aux dires des éleveurs, il serait très appétent ce qui facilite nettement la réhydratation par voie orale.

Le réhydratant (Electydral *, brevet INRA) doit être disponible à partir de la prochaine saison de vêlage, sous forme de sachet unique à dissoudre dans 1,5 litre d'eau tiède ou de doses pour 7,5 litres lorsque plusieurs veaux sont atteints. D'après les utilisateurs, la dose optimale se situerait vers 1,5 litre plutôt que 2 litres et le nombre de distributions de réhydratant doit être au minimum de 3 par jour. En pratique, il faut moduler la distribution du réhydratant en fonction des pertes digestives, la règle étant de ne distribuer le lait qu'après l'arrêt de l'émission de fortes quantités de fécès liquides.

Il existe d'autres applications intéressantes pour les réhydratants par voie orale : réhydratation au cours des transports d'animaux ou en cours d'allotement. Dans la mesure où ce type de traitement symptomatique s'avère très efficace dans la lutte contre les effets des diarrhées, il pourrait permettre une diminution appréciable de l'utilisation des antibiotiques à titre préventif. Toutefois l'usage de ces traitements ne doit pas faire perdre de vue l'importance de l'hygiène et des diverses mesures préventives.

* Laboratoire VETOQUINOL

Le réhydratant par voie veineuse mis au point dans le laboratoire des Maladies Métaboliques (Lodévil *, brevet INRA) a été utilisé sur le terrain par des praticiens dans diverses zones d'élevage et a permis de confirmer l'efficacité et la très bonne tolérance de cette formule, même avec des vitesses de perfusion très rapides. Les animaux traités se trouvaient évidemment dans des états de déshydratation très différents (depuis la déshydratation moyenne jusqu'à l'état comateux avec acidose très prononcée) ; néanmoins, des résultats de l'ordre de 90 p.100 de réussite ont été enregistrés. Lorsque le degré de déshydratation est tel qu'il est pratiquement impossible d'entreprendre une réhydratation par voie veineuse, il reste la possibilité d'administrer le réhydratant par voie intrapéritonéale. Cette voie d'administration ne permet évidemment pas une action aussi rapide que la voie veineuse ; toutefois, avec la présente formule, qui est faiblement hypertonique et rapidement assimilable, on peut espérer une réhydratation partielle du veau diarrhéique, le traitement étant poursuivi par voie veineuse ou par voie orale.

*Laboratoire VETOQUINOL

Conclusions

Il apparait donc que le développement de la réhydratation par voie orale devrait diminuer de façon radicale le taux de mortalité par diarrhée. En fait, si le problème de l'efficacité des formules réhydratantes a pratiquement été résolu, du moins en ce qui concerne les formules présentées dans cet article, il reste à effectuer un très gros effort de diffusion et de promotion du procédé lui-même. Si la pratique de la réhydratation par voie orale est devenue assez courante dans certaines zones d'élevage (charolais par exemple), elle est encore insuffisamment répandue dans de nombreuses zones d'élevage allaitant ainsi que dans de nombreux élevages laitiers où elle se justifie, même sur des veaux laitiers de faible valeur, en raison de son coût très modique.

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) *31-37.*

L'ensilage d'herbe mi-fané en balles rondes, utilisation par des génisses laitières de 1 an

J.P. ANDRIEU*, F. GAILLARD**, J.P. DULPHY*

**Laboratoire des Aliments,*

***C.E.M.A.G.R.E.F., Domaine des Palaquins - Montoldre - 03150 Varennes/Allier*

L'ensilage direct est largement utilisé en France pour la récolte de l'herbe et cette technique a fait l'objet de nombreuses études pour améliorer sa qualité de conservation (hachage, conservateur...). Les connaissances acquises permettent maintenant d'assurer à cette méthode une bonne fiabilité (DULPHY et DEMARQUILLY, 1973 ; DEMARQUILLY et DULPHY, 1977). Cependant, lorsque le fourrage ensilé est très humide, les pertes par jus deviennent importantes, entraînant aussi des problèmes de pollution, et son ingestibilité est faible. De plus, le coût du conservateur et le fait que la réalisation de ce type d'ensilage nécessite souvent des chantiers collectifs, exigeant en personnel, sont autant d'arguments qui conduisent certains agriculteurs à rechercher d'autres méthodes d'ensilage dont le point commun est le recours au préfanage, amenant le fourrage à une teneur en matière sèche de 30 à 35 p.100 (préfané) ou de 40 à 50 p.100 (mi-fané). Les ensilages obtenus deviennent alors plus difficiles à tasser et leur qualité de conservation dépend donc en premier lieu de la bonne étanchéité du silo. On sait également que leur efficacité pour la production de lait ou de viande est nettement inférieure à celle des ensilages directs (JARRIGE, 1981).

Les presses à balles rondes apparues depuis quelques années pour récolter la paille et le foin peuvent aussi être utilisées pour la récolte des ensilages mi-fanés (ESPIEMONTS, 1979 ; BREUX, 1981 ; DEMARQUILLY, 1981). La polyvalence de ce matériel et le fait qu'il permet d'organiser des chantiers autonomes font que cette méthode intéresse actuellement beaucoup d'agriculteurs.

Pour connaître la valeur de l'ensilage ainsi obtenu nous l'avons comparé à un ensilage préfané et à un ensilage direct avec conservateur, tous deux réalisés de façon classique.

Conditions expérimentales

Au Domaine d'Orcival, à partir d'une même prairie naturelle (1er cycle après déprimage) fauchée en totalité le même jour (30 juin 1980) nous avons préparé :

- un ensilage récolté en coupe directe (15,9 p.100 de MS) et finement haché (brins courts), additionné d'acide formique (3,2 l/tonne de fourrage vert) et stocké en silo couloir.

- un ensilage récolté après un préfanage modéré (27 p.100 de MS) également finement haché et stocké dans un silo couloir. Compte tenu des conditions climatiques du moment (temps frais et couvert) l'herbe est restée 3 jours au sol pour atteindre ce taux de matière sèche.

- un ensilage récolté après un préfanage plus poussé (44 p.100 de MS) non haché (brins longs). Un 4ème jour de séjour au sol a suffi pour obtenir ce fanage car les conditions climatiques étaient devenues plus propices à la dessication de l'herbe : réchauffement de l'air ambiant et peu de nuages. Cet ensilage a été conditionné en balles rondes, lesquelles ont été conservées :

. soit en sacs plastique individuels (200 μ d'épaisseur) (A)

. soit en meules (B) et (C) de 21 balles, isolées du sol par un film de plastique et recouvertes par deux autres films de plastique. Avant la fermeture définitive, 4 kg d'ammoniac anhydre par tonne de MS ont été injectés dans la meule (B).

L'ammoniaque anhydride a été rajouté dans le but de prévenir un éventuel développement de moisissures, ce qui est très fréquent dans les ensilages préfanés.

Une étude sur les caractéristiques de réalisation de ces balles rondes a en outre été réalisée par l'équipe du CEMAGREF de Montoldre. Les résultats et commentaires sont donnés en annexe.

Les caractéristiques des fourrages récoltés sont donnés dans le tableau 1.

TABLEAU 1

Composition et valeur alimentaire des ensilages utilisés

N° lot		I	II	III A	III B	III C
Type d'ensilage		Direct haché + acide formique	Préfané haché	Mi-fané, brins longs en balles rondes		
				Sacs individuels	En meule + ammoniac	En meule sans NH_3
Caractéristiques à la récolte						
. teneur en MS (p.100)		15,9	27,2	43,0	46,0	44,0
. Matières azotées totales	p.100 MS	17,5	17,8	16,0	16,0	16,0
. Matières minérales	p.100 MS	7,9	8,4	8,2	8,2	8,2
. Cellulose brute	p.100 MS	23,5	27,2	27,4	27,4	27,4
Composition des ensilages						
. Teneur en MS (p.100)		21,9	26,7	38,7	47,2	45,0
. Matières azotées totales	p.100 MS	17,7	18,0		20,2	18,6
. Matières minérales	p.100 MS	7,4	8,8	ND	9,0	9,2
. Cellulose brute	p.100 MS	29,3	27,9		28,0	28,7
pH		4,14	4,45	5,17	5,40	4,98
$N\text{-}NH_3$ % N total		7,6	12,4	7,7	15,3	9,4
N soluble % N total		49,8	61,3	37,6	54,2	30,4
Acide lactique	g/kg MS	61,1	66,8	18,9	31,4	32,6
Acide acétique	g/kg MS	21,8	39,5	6,8	6,5	10,9
Acide propionique	g/kg MS	1,1	5,1	0,5	1,1	0,7
Acide butyrique	g/kg MS	0,3	1,0	6,0	11,0	3,8
Alcools	g/kg MS	32,2	14,8	4,2	4,6	4,8
Valeur nutritive mesurée sur moutons						
. Digestibilité de la MO		71,3	71,3		70,0	66,3
. UFL/kg MS		0,87	0,85		0,83	0,77
. PDIN g/kg de MS		106	106	ND	120	116
. PDIE g/kg de MS		90	81		90	104
Quantités ingérées g de MS/kg $P^{0.75}$		66,9	58,4		58,2	61,8

Pendant une période pré-expérimentale de 2 semaines, 40 génisses de race laitière ont reçu un régime commun (ensilage préfané classique + ensilage direct à volonté). A l'issue de celle-ci on a constitué 3 lots comparables de 10 animaux qui pesaient en moyenne 303 ± 21 kg le 26 novembre à l'âge de 382 ± 21 jours. Chacun d'eux a alors reçu à volonté l'un des 3 ensilages expérimentaux. La seule complémentation a consisté en 80 g/jour/génisse d'un composé minéral 12—16 enrichi en oligoéléments et en vitamines (A. D3. E).

Après deux semaines de transition, la période expérimentale proprement dite à duré 15 semaines, et a été suivie d'une période post-expérimentale de 2 semaines pendant laquelle les génisses ont de nouveau reçu un régime commun (cf. figure 1). Pendant toute la durée de l'essai, les quantités ingérées par les génisses ont été contrôlées individuellement.

La digestibilité et l'ingestibilité des ensilages ont été mesurées sur moutons (sauf pour le mi-fané, balles rondes en sacs individuels).

Les quantités de fourrage ensilé directement et préfané à 27 p.100 de MS ont été pesées à l'entrée et à la sortie du silo, ce qui a permis de calculer exactement les pertes en silo. Les balles rondes ont été pesées toutes ensemble indépendamment de leur affectation aux traitements A, B et C, puis pesées au désilage. Les pertes calculées pour chacun des traitements sont donc relativement imprécises.

Résultats

Composition chimique, qualité de conservation et valeur nutritive des ensilages

Les résultats concernant la composition des ensilages, leur qualité de conservation et leur valeur nutritive sont rapportés dans le tableau 1. Le fourrage récolté était riche en matières azotées, aussi les différents ensilages ont-ils permis de couvrir largement les besoins azotés des animaux.

La qualité de conservation a été excellente pour l'ensilage direct et assez bonne pour l'ensilage préfané en silo couloir (la

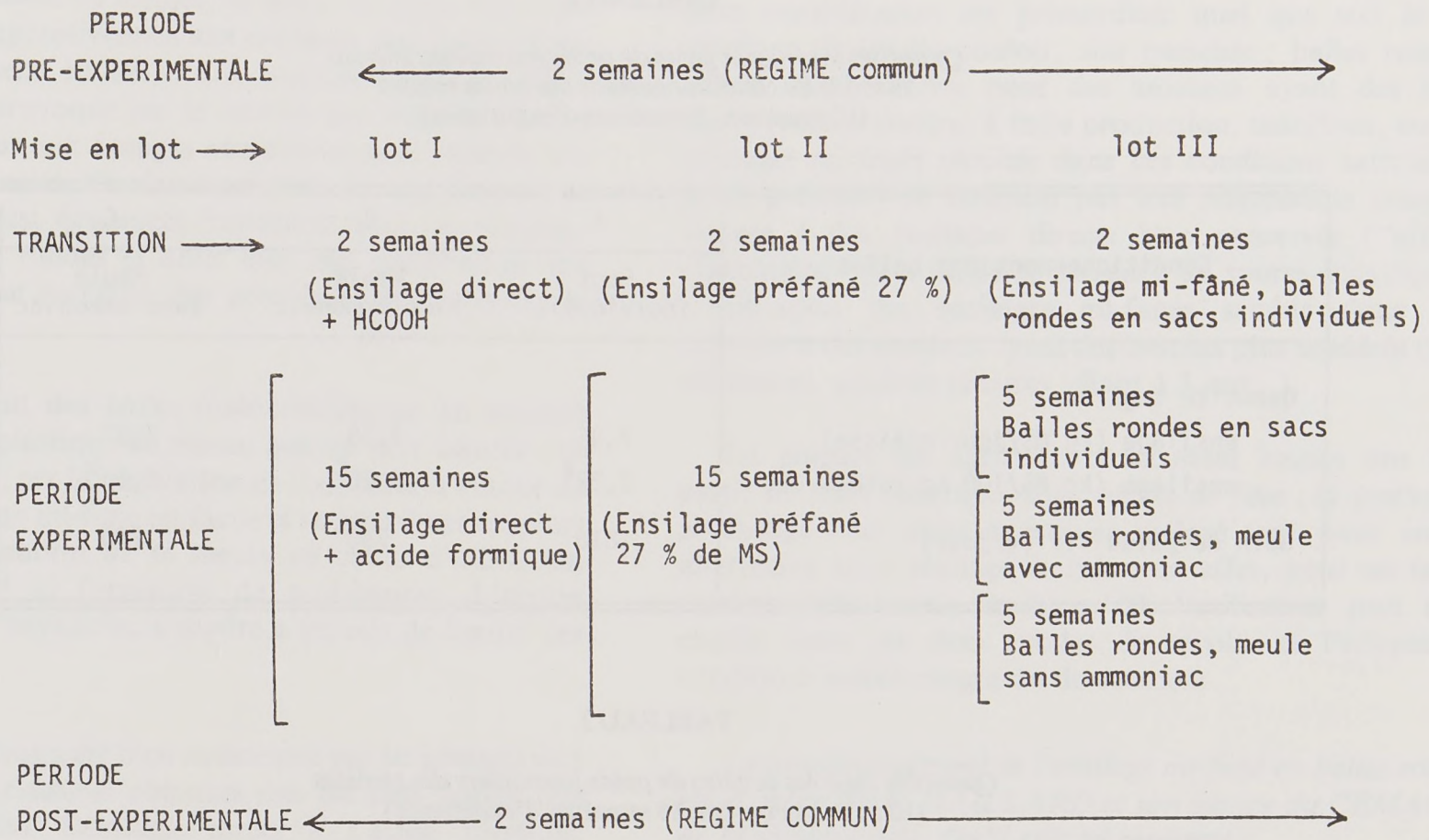


FIG. 1 : *Schéma de distribution des différents régimes*

teneur en acide acétique de ce dernier étant cependant élevée). Pour l'ensilage mi-fané en balles rondes la qualité de conservation peut également être considérée comme satisfaisante malgré la teneur en acide butyrique assez élevée notamment pour les sacs en meule avec ammoniac. L'injection de ce produit a d'ailleurs augmenté la proportion d'azote ammoniacal, ce qui est normal, mais aussi celle en azote soluble, ce qui l'est moins, car l'augmentation de la teneur en matières azotées solubles (10,95 p.100 de la MS contre 5,65 p.100 de la MS dans la meule sans ammoniac) ne peut s'expliquer par la faible augmentation de la teneur en MAT entraînée par l'apport d'ammoniac : + 1,6 p.100 de la MS.

Quantités ingérées et gain de poids des génisses

Les résultats concernant les trois types de conditionnement des balles rondes sont rapportés au tableau 2. Les quantités ingérées sont élevées : exprimées en kg de MS pour 100 kg de poids vif, elles ont été significativement plus élevées pour les balles en sacs individuels que pour les balles en meules mais il s'agit peut-être d'un effet période puisqu'elles avaient même atteint 3,4 kg MS/100 kg de poids vif durant les 10 premiers jours de la période de transition. Les gains de poids vif ont varié dans le même sens que les quantités ingérées : 810, 759 et 700 g/jour pour les balles en sacs individuels ou en meules avec ou sans ammoniac mais la durée de chaque période est trop courte (5 semaines) pour que ces différences aient une signification et il s'agit vraisemblablement encore d'un effet période.

La moyenne des quantités ingérées et des gains de poids vif des 3 périodes "balles rondes" a été retenue pour la comparaison avec l'ensilage direct et l'ensilage préfané classique (tabl. 3). La quantité ingérée a augmenté avec la teneur en matière sèche de l'ensilage, l'augmentation étant significative pour l'ensilage mi-fané en balles rondes.

En revanche, les gains de poids ont diminué avec la teneur en matière sèche et ont été significativement plus élevés avec l'ensilage direct : 890 g/jour contre 740 et 750 g/jour pour les ensilages préfanés et mi-fanés.

La quantité d'ensilage par kg de gain a donc augmenté avec la teneur en matière sèche de l'ensilage : respectivement 7,6 - 9,4 et 10,2.

Pertes en cours de conservation (tabl. 4)

Pour l'ensilage préfané (27 p.100 de MS) stocké en silo couloir, les pertes de matière sèche ont été très réduites grâce à l'absence de jus et aux faibles quantités de pourriture et de moisussures pour ce type d'ensilage, ceci étant dû à un bon tassement à la récolte et à une bonne fermeture du silo (film de plastique chargé de balles de paille).

Avec l'ensilage mi-fané en balles rondes, les valeurs rapportées sont imprécises ; elles doivent être considérées comme un ordre de grandeur. Il en ressort cependant que les pertes en meules sont plus importantes qu'en sacs individuels. Dans ces derniers, la proportion de moisi provient de quelques sacs mal fermés dans lesquels les balles étaient complètement moisies et inconsommables. Dans les meules, le moisi provient essentiellement des balles directement sous la bâche aux endroits où celle-ci était la plus exposée au soleil.

Discussion - Conclusion

Les résultats obtenus montrent qu'il est possible de préparer des ensilages mi-fanés en balles rondes de qualité satisfaisante. Pour ce type d'ensilage et quel que soit le mode de stockage

TABLEAU 2

Quantités ingérées et gains de poids journaliers suivant le mode de conditionnement des balles rondes
(10 animaux, 5 semaines d'expérience)

Conditionnement des balles	A	B	C
	Sacs individuels	Meule avec ammoniac	Meule sans ammoniac
Quantité ingérée			
. ensilage (kg MS/jour/génisse)	7,46	7,58	7,97
. ensilage (kg MS/100 kg Poids vif)	2,28^{a}	2,15^{b}	2,10^{b}
Gain de poids vif (g/jour)	810	750	700

TABLEAU 3

Quantités ingérées et gains de poids journaliers des génisses
(10 animaux par lot, 15 semaines d'expérience)

Type d'ensilage	Lot I	Lot II	Lot III
	Directs brins courts + acide formique	Préfané Brins courts	Mi-fané, brins longs "balles rondes" *
Quantités ingérées			
. ensilage (kg MS/jour/génisse)	6,78^{B}	6,97^{B}	7,67^{A}
. ensilage (kg MS/100 kg P.vif)	1,94	2,04	2,18
Poids vif moyen des animaux (kg)	349	341	342
Gain de poids vif (g/jour)	890^{a} ± 102	740^{b} ± 138	750^{b} ± 127
Efficacité alimentaire :			
kg d'ensilage ingéré/kg de croît	7,6	9,4	10,2

* Tous traitements confondus

Les valeurs ne présentant pas de lettres communes sont significativement différentes au taux de 1 % (Majuscules) et de 5 % (minuscules).

TABLEAU 4

Pertes de matière sèche dans les silos

	Pertes en % de MS récoltée		
	totales	dont jus + gaz	dont pourritures et moisissures
Ensilage direct	19,3	17,2	2,1
Ensilage préfané (couloir)	10,3	6,5	3,8
Balles rondes (1)			
. sacs individuels	9,0	6,2	2,8
. meule avec ammoniac	17,0	16,2	0,8
. meule sans ammoniac	20,8	16,1	4,7

(1) Valeurs approximatives

utilisé (sacs individuels ou meules) la teneur en acide butyrique est augmentée comparativement aux ensilages classiques (direct et préfané finement hachés). Cet accroissement est dû à l'apport de terre provoqué par le contact prolongé de l'herbe sur le sol et surtout aux fanages nécessaires pour obtenir une dessication suffisante de l'herbe. Il est probable que l'apport de spores butyriques est également important avec ces ensilages mi-fanés en balles rondes et donc que leur distribution aux vaches laitières peut entraîner des problèmes de pollution du lait par ces spores.

L'enveloppement des balles (individuelles ou en meules) dans des films de plastique de bonne qualité doit assurer une étanchéité parfaite, car la circulation de l'air dans et autour de la masse de l'ensilage mi-fané est facile et sa pourriture est alors très rapide. L'altération de la meule en cours d'utilisation entraîne également la formation de moisissures. L'action anti-fongique de l'ammoniac anhydre a permis de limiter ces pertes.

L'ensilage mi-fané a été bien consommé par les génisses de 1 an, mais les performances obtenues ont été plus faibles que celles réalisées avec l'ensilage direct à l'acide formique (18 p.100 inférieure). Ces résultats confirment bien que les ensilages mi-fanés ont une ''efficacité alimentaire'' inférieure aux ensilages directs à brins courts correspondant.

Dans la pratique, le conditionnement des ensilages mi-fanés en balles rondes présente des avantages. Le matériel utilisé est polyvalent, il peut aussi servir à la récolte de foin et de paille. Son intégration dans les systèmes de récolte traditionnels est facile (emploi de remorques déjà existantes par exemple). L'utilisation des presses à balles rondes permet d'obtenir des chantiers autonomes et présente l'avantage d'une mise en oeuvre rapide.

Cette méthode de récolte nécessite le mi-fanage de l'herbe, condition qui laisse entrevoir quelques difficultés. En effet, pour amener l'herbe à un taux de MS suffisant (40-50 p.100), l'agriculteur redevient très dépendant des conditions météorologiques. Le temps de séjour au sol du fourrage doit parfois être très prolongé pour obtenir cette teneur en matière sèche, ce qui entraîne des pertes de MS (énergie, azote...) importantes (2 p.100 par jour d'après SCHUKKING et OVERVEST, 1979). Un ensilage préfané ''mouillé'' ne devient pas un ''ensilage direct'', même si la teneur en MS est identique.

Outre cette difficulté d'obtenir une dessication suffisante du fourrage dans de bonnes conditions, la qualité des ensilages mi-fanés dépend étroitement de la parfaite étanchéité du silo, et cette considération est primordiale quel que soit le mode stockage choisi(silo couloir, silo tranchée ; balles rondes en meules...). Toutefois pour des animaux ayant des besoins élevés (vaches laitières à forte production, taurillons, etc...) les ensilages mi-fanés récoltés dans des conditions satisfaisantes (essai présenté) ne semblent pas très intéressants comparativement à des ensilages directs bien conservés (''efficacité alimentaire'' plus faible et présence de spores butyriques...). L'utilisation des ensilages mi-fanés semble donc mieux convenir à des animaux ayant des besoins plus modérés (vaches allaitantes, génisses laitières vêlant à 3 ans...).

La plupart des agriculteurs récoltent encore une bonne partie de leurs fourrages sous forme de foin ; la pratique du mi-fanage peut alors constituer malgré tout pour eux une alternative entre ensilage et foin ; en effet, pour un taux de matière sèche voisin de 50 p.100, l'utilisateur peut encore choisir entre ces deux modes de récolte et l'adapter aux conditions météorologiques du moment.

Le conditionnement de l'ensilage mi-fané en balles rondes a été effectué par F. GAILLARD et son équipe du CEMAGREF de Montoldre (03). Qu'il soit ici remercié.

Références bibliographiques

BREUX J.Y., 1981. Ensilage en grosses balles rondes. *La France agricole,* n° 1867, avril, p. 37-41.

DEMARQUILLY C., 1981. Ensilage. *Cultivar.* Spécial Fourrages, mai, p. 81-83.

DEMARQUILLY C., DULPHY J.P., 1977. Effect of ensiling on feed intake and animal performance. *Proc. of the Int. Meeting on Animal Prod. from temperate Grassland,* Dublin, June 1977, 53-61.

DULPHY J.P., DEMARQUILLY C., 1973. Utilisation des ensilages d'herbe par des génisses et des vaches laitières. *Bull. Techn. CRZV Theix,* INRA, n° 10, 5-15.

ESPIEMONTS J., 1979. Une presse à grosses balles adaptée pour l'ensilage sous plastique. *La France agricole,* n° 1791, octobre, p. 39-41.

JARRIGE R., DEMARQUILLY C. et DULPHY J.P., 1981. Forage conservation. *Symposium on Nutritional limits to animal Production from pastures.* Brisbane, 23-28 Août 1981.

SCHUKKING C. and OVERVEST J., 1979. Direct and indirect losses caused by wilting. European Grassland Federation. *Conservation in the 80's.,* Brighton 1979. C. Thomas Editor.

ANNEXE

A - Réalisation des balles rondes d'ensilage

I. Les techniques d'ensilage en balles rondes :

A) Le chantier de pressage :

Nous avons réalisé des balles très humides (moins de 30 % de M.S.) et aussi des balles beaucoup plus sèches (60 % de M.S.) sans difficulté pour la machine.

Les temps moyens de pressage pour 69 balles sont donnés en annexe (ils ne font pas intervenir les temps morts).

B) Le chargement des remorques :

Il ne pose pas plus de difficultés que le chargement des bottes classiques de foin ou de paille. Il faut toutefois rééquilibrer davantage le tracteur, car les balles rondes sont beaucoup plus lourdes. Selon la dextérité et l'équipement, il faut 40 secondes à 100 secondes par balle.

C) Confection d'une meule :

Les balles réalisées avec les machines de 1,20 m de largeur de pick-up (petit modèle) sont moins stables que celles réalisées avec les gros modèles. Le petit modèle étant, de loin, le plus utilisé en France, il est donc indispensable de veiller au très bon empilage des balles de la meule.

La conservation peut être très bonne dans la mesure où l'herméticité est assurée jusqu'à l'ouverture.

Une lutte préventive contre les rongeurs et les oiseaux est indispensable. De même, il ne faut pas lésiner sur le film plastique qui doit être de qualité ensilage et de 200 microns d'épaisseur. Il est important d'ajouter un second film qui sert de protection mécanique.

D) Les sacs individuels :

Cette méthode mise au point par les Ecossais permet de limiter les dégradations aux balles dont les sacs sont troués, car si le sac a été percé, la température s'élève plus ou moins rapidement et peut atteindre une soixantaine de degrés.

La fermeture du sac a un rôle primordial et doit être effectuée avec soin.

Cette méthode permet normalement une bonne conservation.

Les prix élevés des sacs en France risquent de limiter le développement de cette méthode. Mais la réutilisation des sacs de 200 microns devrait pouvoir être possible dans la mesure où la reprise s'effectue à deux personnes.

II. Le plastique utilisé :

Sa qualité intervient au premier chef, car cette technique repose sur l'herméticité absolue des différents types de silos.

Il est indispensable d'utiliser un plastique de qualité ensilage d'au moins 150 microns pour les sacs et de 200 microns pour les meules.

III. Intérêt du système :

Cette technique permet de s'affranchir des contrainte de la fenaison en utilisant une machine polyvalente paille-foin. Le chantier est vite mis en oeuvre : machine toujours disponible, main-d'oeuvre limitée à deux ou trois personnes.

La reprise ne nécessite pas l'achat d'une désileuse. Par contre, la distribution rationnée est facilitée par l'usage d'un coupe-ensilage.

IV. Recommandations :

La clé de la réussite de l'ensilage en balles rondes est, comme pour les autres ensilages, l'herméticité du silo. Le moindre défaut avec les balles rondes entraîne des pertes importantes.

La lutte contre les rongeurs doit être préventive et non curative et ce n'est certainement pas le fait du hasard que le meilleur ensilage en meule rencontré dernièrement ait été vu chez un éleveur qui conduit une lutte efficace contre les rongeurs.

Pour les meules, comme pour les sacs, un second film en couverture du premier le protège vis-à-vis des agents extérieurs et en particulier, du soleil et du vent.

Un autre facteur très important est le fait d'ensiler des plantes qui s'ensilent bien ou de récolter au stade idéal pour l'ensilage, c'est-à-dire un produit jeune et riche en glucides fermentescibles.

B - Résultats divers

I. Confection des balles d'ensilage
(moyenne de 69 balles réalisées à Orcival

Temps	Secondes
de pressage (1) :	95
de ficelage (2) :	66
d'éjection (3) :	23
Total :	184

(1) pressage, depuis la porte de la presse fermée jusqu'à l'arrêt du tracteur ;
(2) temps de ficelage + marche arrière ;
(3) temps ouverture porte, éjection et fermeture.

II. Caractéristiques moyennes des balles (Orcival) :

Caractéristiques	Teneur en matière sèche du produit 31 %	50 %
Nombre de balles :	19	56
Poids moyen brut (kg) :	540	450
Poids moyen de M.S. (kg) :	167	225
Volume moyen (m^3) :	1,36	1,36
Densité (kg M.S./m^3) :	123	166

III. Temps de mise en meule :

60 secondes suffisent pour prendre sur la remorque chaque balle et la gerber sur la meule.

Une meule de 21 balles peut être recouverte de son film hermétique en une dizaine de minutes avec deux personnes.

IV. Temps de mise en sacs individuels (Orcival):

Opération	Secondes
Prise balle sur remorque et amenée au silo :	30
Préparation des sacs :	15
Ensachage :	60
Positionnement de la balle :	30
Fermeture :.....	60
Total :	195

V. Quantité et prix de revient du plastique selon les différentes solutions

Solution \ Rubrique	Nombre de rangées	Nombre de balles	Kg de plastique par balle	Prix par balle, en F sans récupération	Prix par balle, en F avec récupération
Meule :	2	24	1,3	9,6	-
	3	36	1	7,6	-
	4	48	0,9	6,7	-
Sacs individuels :	-	1	2,6	26	13

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) 39-43.

Etude de l'effet conservateur de la pulpe déshydratée mélassée de betterave dans un ensilage d'herbe destiné aux vaches laitières

J.P. ANDRIEU, J.P. DULPHY

Laboratoire des Aliments

Dans nos premiers essais sur l'incorporation de la pulpe déshydratée de betterave dans les ensilages d'herbe (DULPHY et DEMARQUILLY, 1975) notre objectif était de réduire les fortes pertes sous forme de jus enregistrées parfois avec les ensilages directs.

Nous avons effectivement observé une réduction de moitié de la quantité de jus, ce qui a permis de limiter en partie les pertes d'énergie et de minéraux solubles (DULPHY et DEMARQUILLY, 1975 ; DULPHY et ANDRIEU, 1976 et 1977). Mais la nécessité d'obtenir une bonne qualité de conservation des ensilages d'herbe se pose toujours et nous avons voulu tester l'effet conservateur de la pulpe de betterave en choisissant une pulpe mélassée pour apporter des glucides solubles en même temps que la pulpe. Dans une première comparaison (DULPHY et ANDRIEU, 1977) l'ensilage témoin sans pulpe avait été préparé avec addition d'acide formique. Dans la deuxième comparaison, rapportée ici, l'ensilage témoin ne contient pas de conservateur. Comme dans tous les essais antérieurs, les vaches recevant l'ensilage témoin ont reçu de la pulpe à l'auge en quantité telle que la proportion pulpe/fourrage soit en moyenne la même que dans l'ensilage expérimental.

I. Conditions expérimentales

Deux ensilages ont été préparés simultanément à partir d'un ray-grass anglais 1er cycle, au stade épiaison, l'un ne contenant pas de conservateur, l'autre avec de la pulpe déshydratée contenant 15 à 17 p.100 de mélasse et apportée à raison de 60 kg/tonne de fourrage vert, ce qui représente 25,9 p.100 de la MS totale ensilée. La récolte a été effectuée en 2 jours avec une ensileuse automotrice à coupe fine par un temps couvert, mais sans pluie. Les caractéristiques des fourrages mis en silos et des ensilages correspondants sont rapportées dans le tableau 1.

Pendant trois semaines de période pré-expérimentale 18 vaches laitières ont reçu de l'ensilage de ray-grass anglais avec pulpe à volonté, 2 kg de pulpe déshydratée à l'auge et du concentré équilibré pour la production laitière ajusté en fonction de la production des vaches.

A l'issue de cette période d'alimentation commune, 14 vaches ont été réparties en deux lots identiques (tabl. 2). Chacun d'eux a reçu comme ration de base un des ensilages expérimentaux distribué seul et à volonté. Une période de transition de deux semaines a permis ensuite d'ajuster les apports d'aliment concentré et de faire en sorte que la proportion de pulpe apportée à l'auge aux animaux du lot témoin soit la plus proche possible de celle incorporée dans l'ensilage au moment de la récolte. Les vaches ont reçu en outre 200 g/jour d'un mélange de minéraux (12-16) enrichi en oligoéléments et 50 g/jour de phosphate monocalcique.

Les résultats concernant les quantités ingérées, la production et la composition du lait ont été ajustés par analyse de covariance pour tenir compte des très légères différences existant entre lots pendant la période préexpérimentale. En outre le débit des jus s'écoulant des silos a été contrôlé pendant 3 semaines.

II. Résultats

A - Qualité de conservation (tabl. 1)

La qualité de conservation a été correcte pour les deux ensilages. Cependant la proportion d'azote soluble par rapport à l'azote total a été importante. La teneur en acide acétique a été élevée, et il est probable qu'elle a joué un rôle dépressif sur la quantité d'ensilage ingérée par les vaches laitières (cf. plus loin). L'addition de la pulpe déshydratée mélassée à la mise en silo n'a pas amélioré la qualité de conservation ; elle a augmenté légèrement les quantités d'acide acétique, d'acide propionique et d'alcools, accroissant ainsi les produits volatils de 10 p.100.

TABLEAU 1

Composition et caractéristiques fermentaires des ensilages étudiés

		Ray-grass anglais 1er cycle	
		Direct	Direct + 60 kg pulpe déshydratée/tonne
Composition à la mise en silo :			(après mélange)
. Teneur en MS (p.100)		15,3	19,4
. Matières minérales	p.100 MS	7,5	7,3
. Matières azotées totales	p.100 MS	17,7	15,5
. Cellulose brute	p.100 MS	24,9	23,4
Composition des ensilages :			
. Teneur en MS (p.100)		19,5	21,2
. Matières minérales	p.100 MS	7,1	7,7
. Matières azotées totales	p.100 MS	16,3	15,9
. Cellulose brute	p.100 MS	31,2	28,2
. Glucides solubles	p.100 MS	13,9	13,1
Caractéristiques fermentaires :			
pH		4,01	4,02
$N\text{-}NH_3$ % N total		9,9	7,6
N soluble % N total		69,8	58,5
Acide lactique	g/kg MS	117,5	87,6
Acide acétique	g/kg MS	34,5	39,2
Acide propionique	g/kg MS	2,8	5,0
Acide butyrique	g/kg MS	1,3	0,7
Alcools	g/kg MS	19,6	27,8
Valeur alimentaire mesurée sur moutons :			
Digestibilité de la matière organique (p.100)		75,4	76,9
UFL/kg MS		0,92	0,90
MAD g/kg MS		106	87
PDIN g/kg MS		102	92
PDIE g/kg MS		75	82
Ingestibilité (g de MS/kg $P^{0.75}$)		50,8	62,3

B - Quantités ingérées et performances des vaches laitières (tabl. 3)

Les quantités ingérées ont été semblables pour les deux ensilages mais le niveau d'ingestion a été faible (1,72 kg MS/100 kg de poids vif). Contrairement aux trois premiers essais réalisés (DULPHY et DEMARQUILLY, 1975 ; DULPHY et ANDRIEU, 1976) où tous les ensilages avaient reçu de l'acide formique, l'incorporation de pulpe n'a donc pas permis une ingestion supérieure de fourrage.

La teneur en acide acétique dans les deux ensilages, a donc dû limiter leur ingestion. La production de lait et le taux butyreux ont été un peu plus élevés pour l'ensilage avec pulpe, mais les différences n'ont été significatives qu'au niveau de la quantité de matières grasses produites par jour. La persistance du lait brut et les reprises de poids ont été bonnes dans les deux lots ; les faibles écarts qui apparaissent entre eux n'ont pas été significatifs.

A partir des performances réalisées par les vaches nous avons calculé la valeur énergétique nette ''réelle'' des fourrages ensilés en supposant que la valeur des concentrés était égale à celle des Tables (INRA, 1978). Il apparaît que la pulpe mélangée au silo à la récolte a permis un accroissement de 7 p.100 (tabl. 4) de cette valeur.

C - Pertes en silo

Rapportées à la fraction fourrage, les pertes sous forme de jus ont été réduites de 50 p.100 par l'apport de pulpe :

Animaux : 2 lots de 7 vaches - 6 primipares et 8 multipares
Races : Frisons x Holstein, Montbéliardes
Stade de lactation : 40 jours au début de la pré-expérience
Durée de l'essai : 112 jours dont 84 en expérience

Aliments concentrés utilisés :

- Concentré équilibré : 1,07 UFL - 182 g MAT - 130 g PDIE - 127 g PDIN (kg MS)

20 % orge	5 % mélasse de canne
20 % maïs grain	1 % carbonate de chaux
30 % pulpes sèches de betterave	1 % phosphate bicalcique
12 % Tourteau de soja 50	0,5 % sel marin
10 % Tourteau de colza toasté	0,5 % oxyde de magnésium

- Tourteaux tanné (50 % soja + 50 % colza)

1,07 UFL 358 g PDIE 365 g PDIN (kg MS)

- Pulpe mélassée

0,99 UFL 100 g MAT 98 g PDIE 66 g PDIN (kg MS)
contenant 12,6 % de glucides solubles dans la matière sèche.

TABLEAU 2

Conditions expérimentales

TABLEAU 3

Quantités ingérées et performances des vaches laitières

	Pulpe à l'auge	Pulpe dans le silo	
Nombre d'animaux	7	7	
Quantités de matière sèche ingérée par vache et par jour :			
. Ensilage seul (kg)	10,45	10,25	NS (1)
. Pulpe	3,43	3,58	
. Aliment concentré	1,36	1,46	
. Tourteau tanné (soja - colza)	0,47	0,47	
. Fourrage + pulpe (kg/100 kg PV)	2,31	2,24	
. Total	2,62	2,55	
Production laitière (kg/vache/jour) :			
. Lait brut	21,5	22,0	NS
. Lait 4 %	19,94	20,56	NS
Période expérimentale			
. Persistance du lait brut (%)	92,8	91,7	NS
. Taux butyreux g/1000	34,9	36,2	NS
. Taux azoté g/1000	29,8	30,8	NS
. Quantité de matières grasses g/jour/vache	737	810	S (P<0,05)
. Quantité de matières azotées g/jour/vache	639	698	NS
Poids vif moyen (kg)	600	607	NS
Variation de poids vif (g/jour/vache)	+ 122	+ 148	NS

(1) signification de la différence

TABLEAU 4

Valeur énergétique des rations estimée à partir des besoins et des performances des vaches laitières, et production laitière permise

	Pulpe à l'auge	Pulpe dans le silo
Valeur énergétique (UF/kg MS)		
. mélange ensilage - pulpe	0,86	0,90
. fraction ensilage seul	0,81	0,87
Production laitière (kg de lait 4 %) permise par l'énergie de la ration de base		
. fraction ensilage seul	8,0 (8,8)	9,0 (11,0)
. mélange ensilage - pulpe	16,2 (17,8)	16,4 (20,2)

(Vaches adultes entre parenthèses)

TABLEAU 5

Tableau récapitulatif des différents essais réalisés

Nombre d'essais (animaux par lot)	1 (7 vaches laitières par lot)		1 (8 vaches laitières par lot)		3 (8 vaches laitières par lot)	
Traitement	Ensilage témoin sans conservateur (1)	Ensilage avec pulpe déshydratée mélassée	Ensilage témoin + acide formique (3,2 l/t. f. vert) (1)	Ensilage avec pulpe déshydratée mélassée	Acide formique (2,9 l/t. f. vert) + ensilage témoin (1)	+ ensilage avec pulpe déshydratée
Pertes au silo (% MS récoltée)						
. jus	10,0	4,8	11,1	6,8	9,8	6,0
. gaz	ND	ND	14,5	11,7	9,1	12,2
MS récupérée	ND	ND	72,2	79,6	77,0	78,1
Performances sur les vaches laitières						
-Ingestion (kg MS/jour/vache)						
. fourrage	10,5	10,3	10,2	9,7	10,6	11,9
. pulpe déshydratée	3,4	3,6	3,2	3,3	2,9	3,2
. aliment concentré	1,8	1,9	2,6	2,5	0,8	0,8
-Production moyenne						
. lait 4 % (kg)	19,9	20,5	22,0	21,0	16,6	17,3
. taux butyreux (g/kg de lait)	34,9	36,2	38,7	36,9	36,6	37,1
. gain de poids/jour (g)	+ 120	+ 150	+ 70	+ 210	- 25	+ 130
Valorisation du kg MS fourrage (UFL)	0,81	0,87	0,87	0,87	0,74	0,78
Production de lait 4 % permise par :						
. fourrage seul	8	9	8,8	8,2	7,7	9,3
. fourrage + pulpe	16,2	16,4	15,9	15,6	14,2	16,4

(1) Pulpe déshydratée distribuée à l'auge

4,8 p.100 de la matière sèche ensilée contre 10 p.100 pendant les 3 semaines de contrôle, ce qui représente approximativement la totalité des pertes par jus.

III. Discussion - conclusion

A - Essai décrit

Cet essai n'a donc pas montré d'avantage très net en faveur de l'incorporation de pulpe déshydratée dans le silo pour ce qui concerne la qualité de conservation de l'ensilage. La teneur en glucides solubles du ray-grass étant déjà élevée, l'apport de sucres supplémentaires par la pulpe mélassée a eu un effet négatif sur la qualité de conservation en entraînant une augmentation de la quantité d'acide acétique produite. Cette teneur élevée en acide acétique a dû empêcher l'action généralement bénéfique de la pulpe au niveau des quantités ingérées. Cependant la production de lait supplémentaire de 0,6 kg/jour et le gain de poids vif légèrement amélioré prouvent une meilleure efficacité de l'ensilage avec pulpe incorporée.

B - Tous essais

L'ensemble des résultats obtenus depuis 1974 (cf. références bibliographiques) avec incorporation de pulpe déshydratée à l'auge est rappelé dans le tabl. 5. Il apparaît que notre premier objectif, celui de réduire les pertes par jus, n'a été qu'en partie atteint (passage en moyenne de 10,1 à 5,9 p.100 de la matière sèche). La pulpe est un produit qui retient bien les jus (rétention par kg de pulpes de 2 à 2,5 litres de jus contenant 50 à 60 g de MS/litre), mais il aurait fallu environ 150 kg de pulpe par tonne de fourrage frais pour ne plus avoir de jus du tout. Ceci est excessif, mais les pertes par jus dans nos silos sont très fortes à cause de leur hauteur (4 m) et de leur chargement par une grosse quantité de paille et de la faible teneur en MS des fourrages ensilés (17,2 p.100). Notons à ce sujet que les fourrages avec une teneur en matière sèche plus élevée donneraient des jus ayant également une teneur en matière sèche plus élevée, ce qui augmenterait la capacité d'absorption de la pulpe en matière sèche. Dans des silos plus classiques une centaine de kg de pulpe aurait suffi, mais cela aurait été encore excessif (environ 35 p.100 de la MS ensilée), sauf pour des animaux à besoins élevés. Malheureusement l'effet positif de la pulpe sur la réduction des pertes de jus est plus ou moins annulé par un effet négatif sur les pertes gazeuses. Ces pertes doivent provenir peut-être du fait que la pulpe augmente les pertes à l'ouverture du silo.

En ce qui concerne la qualité de conservation, seuls les deux derniers essais sont utilisables, mais ils ne permettent pas de porter un jugement définitif car les fourrages ensilés témoins étaient également bien conservés. On peut seulement noter que la mélasse augmente la teneur en acide acétique de l'ensilage, ce qui est classique.

La pulpe a permis une augmentation de l'ingestion du fourrage seulement dans les essais où elle était incorporée avec de l'acide formique. En l'absence de conservateur il ne semble pas, par contre, y avoir d'avantage particulier à ce niveau. Cependant les performances indiquent que le fourrage ensilé avec pulpe est mieux valorisé que celui ensilé sans pulpe (+ 0,036 UFL/kg de MS, soit + 4,6 p.100). A même niveau d'ingestion (par exemple 10 kg de MS) cela correspond à une amélioration du lait permis par la ration de base de 0,8 kg, soit une possibilité d'économie en concentré de 300-350 g/jour. En présence d'acide formique le lait permis a augmenté de 1,6 kg, ce qui est considérable. Cette amélioration de la valeur énergétique du fourrage désilé constitue donc, en définitive, un des intérêts majeurs de l'addition de pulpe déshydratée dans les fourrages ensilés humides. Il faut noter que l'incorporation de pulpe ne complique pas tellement la confection du silo. Elle permet de faire des rations de valeurs élevées et donc de limiter très nettement l'apport de concentré dans la salle de traite ou à l'auge. Avec des fourrages pauvres en glucides solubles on pourrait recommander l'utilisation de pulpe mélassée, alors que la pulpe ordinaire doit suffire avec les fourrages riches en glucides solubles.

Au plan économique, l'opération peut être intéressante si, en même temps, le prix de la pulpe à l'UF est inférieur à celui d'un concentré habituel. Il reste à savoir si l'apport de pulpe mélassée peut permettre de ne plus employer de conservateur avec des fourrages humides et pauvres en sucres comme les dactyles et les fétuques. Ceci est peu vraisemblable, mais il est certain qu'avec un apport de pulpe la fréquence d'emploi d'un conservateur efficace doit pourvoir diminuer légèrement.

Références bibliographiques

DULPHY J.P., DEMARQUILLY C., 1975. Incorporation de pulpes sèches dans l'ensilage d'herbe : utilisation par les vaches laitières. *Bull. Techn. CRZV* Theix, INRA, n°22, p. 45-52

DULPHY J.P., ANDRIEU J.P., 1976. Utilisation par les vaches laitères des ensilages d'herbe enrichis en pulpes de betteraves déshydratées. *Bull. Techn. CRZV* Theix, INRA, n°25, p. 25-31

DULPHY J.P., ANDRIEU J.P., 1977. Incorporation de pulpe mélassée de betterave dans l'ensilage d'herbe : utilisation par les vaches laitières. *Bull. Techn. CRZV* Theix, INRA, n°29, p. 23-28.

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) 45-55

Digestion comparée des lipides chez les ruminants et les monogastriques

D. BAUCHART

Laboratoire d'Etude du Métabolisme Energétique

Constitués d'un ensemble très varié de molécules, les lipides alimentaires permettent à l'organisme de l'animal qui les ingère, d'assurer une série de fonctions importantes intervenant dans le métabolisme et la structure des cellules.

- sous forme de *triglycérides,* ils constituent l'aliment qui, par unité de poids, contient le plus d'énergie chimique (9,5 Kcal/g contre 4,2 pour les glucides).
- sous forme de *phospholipides,* ils participent, comme constituants membranaires, à l'édification ou au renouvellement de l'architecture cellulaire et au contrôle de la perméabilité cellulaire.
- sous forme de *stéroïdes* (cholestérol et dérivés), ils assurent comme médiateurs chimiques (hormones surrénaliennes ou sexuelles) la régulation de fonctions organiques essentielles, ou participent comme agents émulsionnants (sels biliaires) à la digestion intestinale des lipides alimentaires.
- enfin, les lipides alimentaires apportent à l'animal des *acides gras essentiels* qu'il est incapable de synthétiser et qui sont indispensables au bon fonctionnement de son organisme. Les principales fonctions biologiques de ces acides gras sont d'ordre structural (constituants privilégiés des phospholipides membranaires favorisant la fluidité membranaire) ou dynamique (précurseurs des prostaglandines, médiateurs agissant sur la contractilité musculaire et vasculaire).

Les processus de digestion des lipides alimentaires sont caractérisés chez toutes les espèces animales par la conversion, par hydrolyse, des lipides naturellement insolubles dans l'eau en composés potentiellement solubles, permettant ainsi leur absorption par les cellules de la muqueuse intestinale et leur utilisation par des cellules de l'organisme.

Cependant, les mécanismes impliqués au cours des étapes successives de la digestion des lipides chez les ruminants marquent de profondes différences avec ceux mis en jeu chez les monogastriques, en raison notamment de la nature des aliments (composition et teneur en lipides, niveau d'alimentation), des particularités anatomiques du tractus digestif, de la spécificité et de l'intensité d'action des enzymes digestives, enfin de la nature et du nombre de microorganismes qui se développent et agissent dans les différents compartiments du tractus digestif.

Le but de cet article est de comparer les particularités de la digestion des lipides alimentaires chez les monogastriques et les ruminants. Dans une première partie, nous détaillerons la composition en lipides des aliments, et, dans une deuxième partie, nous examinerons les mécanismes de la digestion des lipides dans le tractus digestif avant leur entrée dans l'intestin grêle puis les processus ultérieurs de leur digestion et leur absorption dans l'intestin grêle.

I - Composition en lipides des aliments

A. Aliments du monogastrique et du préruminant

Les lipides des rations alimentaires sont, chez le Monogastrique et le Préruminant, constitués en très grande majorité de *triglycérides.*

Leur teneur dans les rations varie dans une proportion très importante selon l'espèce animale : elle est généralement peu élevée chez le Porc (2 à 4 p.100 de la matière sèche ; tabl. 1) ou chez la Volaille (5 p.100 environ de la matière sèche) mais peut être beaucoup plus élevée chez l'Homme (10 à 20 p.100 de la MS) et surtout chez les animaux non sevrés comme le Veau préruminant (15 à 24 p.100 de la MS).

La composition en acides gras varie également dans des proportions considérables selon l'espèce animale : généralement riches en acide palmitique (C16 : 0) et surtout en acide oléique (C18 : 1), les rations diffèrent par les teneurs en acide stéarique (C18 : 0) et surtout en acides polyinsaturés dont la teneur est très faible dans le lait ou les aliments d'allaitement (2 à 3 p.100) et très élevée dans des rations contenant des céréales (50 p.100 chez le Porc) (tabl. 1).

TABLEAU I

Composition (en % molaire) *des principaux acides gras et teneurs en matières grasses de différentes rations alimentaires distribuées au veau préruminant et au porc*

	ALIMENTS "VEAU PRERUMINANT"			ALIMENTS "PORC"	
	Lait entier	Aliments d'allaitement		Ration 1	Ration 2
		Suif	Suif + huile de coprah (70/30)	Maïs : 76 % Tourteau de soja : 20 %	Orge : 80 % Tourteau de soja : 16 %
< C 8:0	9,0	-	2,5	-	-
C10:0	3,5	-	1,7	-	-
C12:0	4,2	-	14,4	-	-
C14:0	12,3	3,2	7,6	-	-
C16:0	31,3	25,9	20,8	10,9	9,3
C16:1	-	2,7	1,9	0,2	0,2
C18:0	10,2	23,3	17,2	2,5	3,8
C18:1	24,0	35,6	27,0	28,2	26,1
C18:2	1,9	2,4	2,1	54,8	53,5
C18:3	-	1,0	0,7	2,4	6,1
Teneur en matières grasses (% de la matière sèche)	28	16 à 24		3,7	2,1

B. Aliments du ruminant

Les rations alimentaires distribuées aux ruminants sont constituées pour l'essentiel de fourrages et d'une proportion variable d'aliments concentrés. Elles sont pauvres en lipides puisqu'ils représentent 2 à 5 p.100 de la matière sèche (extrait éthéré), ce qui est généralement plus faible que pour les aliments conventionnels du Monogastrique.

Les lipides des fourrages verts sont constitués pour 1/3 de pigments (chlorophylles, carotènes, tocophérols) et pour 2/3 de lipides estérifiés. Ces derniers sont composés pour 70 à 80 p.100 en moyenne de glycolipides (galactolipides) concentrés dans les chloroplastes des cellules et, pour 15 à 20 p.100 de phospholipides concentrés dans le contenu cytoplasmatique et les membranes cellulaires (ROUGHAN et BATT, 1969 ; KATES, 1970 ; HUDSON et WARWICK, 1977).

Leur contenu en acides gras qui représente environ 40 à 50 p.100 des lipides totaux, se caractérise par une grande richesse en acides gras polyinsaturés (60 à 90 p.100 des acides gras totaux) notamment en acide linolénique (C18 : 3 (n-3) ; 60 p.100 en moyenne) et, à un degré moindre, en acide linoléique (C18 : 2 (n-6) ; 15 p.100 en moyenne). Néanmoins, leur teneur et leur composition peuvent varier fortement selon l'espèce végétale, le stade de croissance et les modes de traitement (tabl. 2 ; fig. 1).

Les acides gras (sous forme de lipides estérifiés) s'accumulent davantage dans les feuilles que dans les tiges, et dans les jeunes feuilles que dans les plus âgées (HAWKE, 1963 ; GRAY *et al,* 1967). Ces phénomènes pourraient s'expliquer vraisemblablement à la fois par l'abondance des chloroplastes (site cellulaire de la synthèse et de stockage des acides gras) au niveau des feuilles et par la ''dilution'' progressive des acides gras par la cellulose lorsque la plante vieillit.

Par ailleurs, les méthodes de conservation des fourrages comme le séchage (OUTEN *et al,* 1975) ou l'ensilage (HENDERSON *et al,* 1972) entrainent une perte d'acides gras de même que le broyage ou le hâchage (OUTEN *et al,* 1974 ; 1975 (tabl. 2).

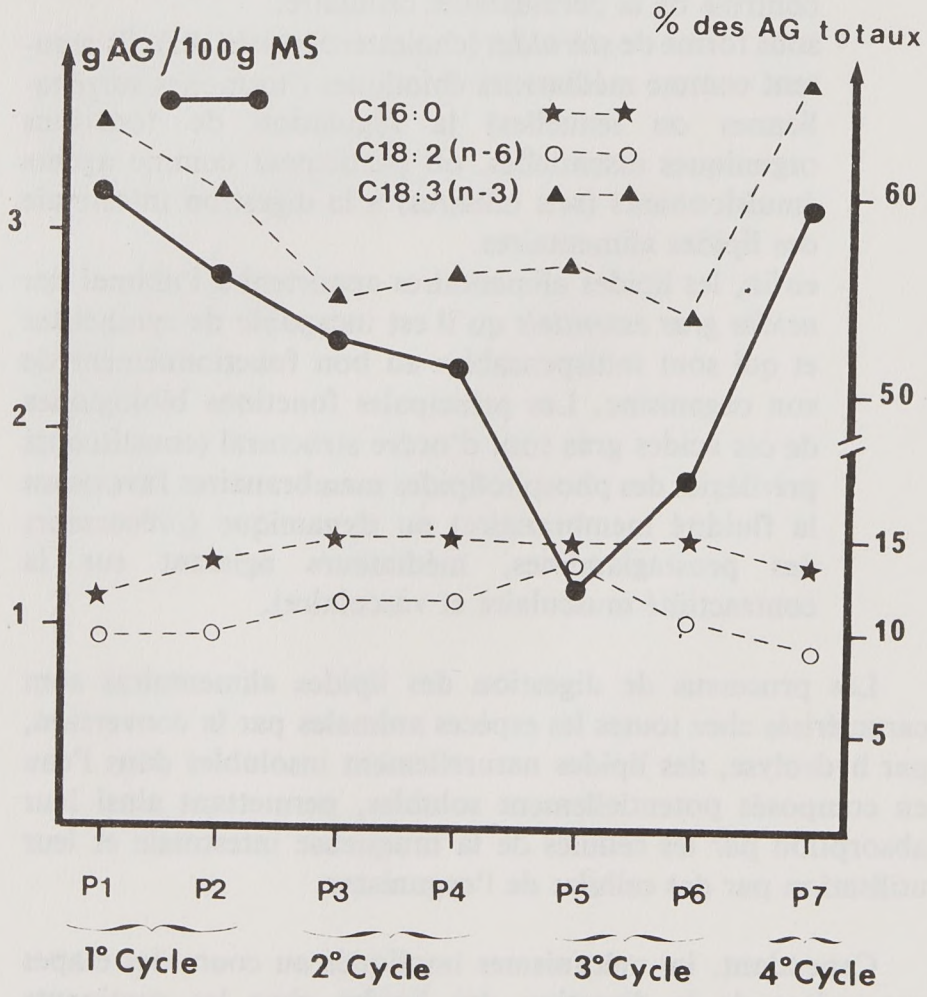


FIG. 1 : *Variation de la teneur et de la composition en acides gras de l'herbe* (Ray-Grass anglais) *au cours de la saison de pâturage* (début mai - fin septembre).

(D'après BAUCHART et VERITE, 1981)

TABLEAU 2

Composition et teneur en acides gras de quelques fourrages (frais ou conditionnés) *consommés par le ruminant*

Aliment / Acides gras	Foin de luzerne[a]	Trèfle frais[b]	Trèfle séché[b]		Dactyle séché[c]		Foin de graminés[d]	Graminés séchés[d]	Ray-Grass frais[e]	
			hâché	broyé	hâché	broyé			1er cycle	3ème cycle
C16:0	26,3	20,5	20,7	19,6	17,9	18,1	20,7	14,7	11,4	14,9
C18:0	6,4	3,1	2,6	2,5	1,8	1,7	6,6	2,1	3,3	2,6
C18:1 (n-9)	4,8	4,1	2,5	1,8	1,2	2,1	18,9	4,2	3,3	2,9
C18:2 (n-6)	17,2	19,5	21,0	19,1	14,0	15,2	26,0	16,0	9,5	13,0
C18:3 (n-3)	30,8	46,9	47,2	50,9	64,3	59,6	17,9	56,6	63,6	57,1
A.G. totaux g/100 g MS	ND	2,1	1,7	1,8	1,0	0,9	0,6	1,4	3,2	1,2

ND = non déterminé

a : HOGAN et al (1972) b : OUTEN et al (1975) c : OUTEN et al (1974)

d : MOORE et al (1968) e : BAUCHART et VERITE (1981)

TABLEAU 3

Composition (en % molaire) *des principaux acides gras et teneurs en matières grasses d'aliments concentrés utilisés dans l'alimentation du ruminant*

	Aliment concentré "Vache laitière" (VL 18)*	Aliment concentré "Taurillon" (type complet)* Aliment Croissance Engraissement
	34,3 % orge 10,0 % tourteau de colza 6,9 % tourteau de soja 20,0 % son 12,0 % pulpe de betterave 2,2 % maïs	60 % orge 20 % tourteau de soja 4 % tourteau de colza
C16:0	10,0	8,9
C18:0	3,9	3,1
C18:1	30,5	30,5
C18:2	46,4	50,1
C18:3	4,2	2,9
C20:4	1,8	-
Teneur en matières grasses (% de la matière sèche)	2,4	2,0

*Société UCABEC

L'addition *d'aliments concentrés* dans l'aliment des ruminants augmente sensiblement leur teneur en acides gras libres et surtout en triglycérides. L'incorporation de céréales riches en acide linoléique modifie fortement la composition en acides gras de l'aliment, les concentrés commerciaux contenant en moyenne 50 p.100 d'acide linoléique (C18 : 2 n-6), 30 p.100 d'acide oléique (C18 : 1 n-9) et 10 p.100 d'acide palmitique (C16 : 0) (tabl. 3).

II - Digestion avant l'intestin grêle

A. Chez le monogastrique et le jeune préruminant

Il est généralement admis que la digestion enzymatique des lipides commence, chez le Monogastrique comme chez le

Préruminant, au niveau du duodénum. Cependant, il a été démontré que les triglycérides alimentaires peuvent subir, dans l'estomac, l'action hydrolysante de lipases (EC 3.1.1.3) conduisant pour l'essentiel à la formation d'acides gras libres et de diglycérides.

Bien qu'agissant au niveau de l'estomac, ces lipases sont *d'origine prégastrique* (NELSON *et al,* 1977) et ne sont pas produites par la muqueuse de l'estomac (TOOTHILL *et al,* 1976) : lipase linguale (sécrétée par les glandes séreuses de la langue) chez le Rat (HAMOSH et SCOW, 1973), lipase pharyngienne chez l'Homme (HAMOSH *et al.,* 1975), lipase salivaire (appelée également ''estérase prégastrique'', sécrétée par les glandes palatines) chez le Veau (OTTERBY *et al.,* 1964) chez le Porc (PORTER, 1916), le Lapin, le Chat, le Chien, le Singe et la Souris (NELSON et FARNHAM, 1958).

L'importance physiologique de la lipolyse gastrique dans la digestion des matières grasses alimentaires varie avec *l'âge* de l'animal et la *nature des aliments* qu'il ingère.

Chez le jeune nourri au lait, comme le Veau préruminant, elle revêt une importance toute particulière (HAMOSH, 1979) pendant les 8 premiers jours de la vie puisque l'acitivité lipolytique du tissu ou des sécrétions pancréatiques est relativement faible (HUBER *et al.,* 1961).

De plus, la nature chimique des constituants du lait (protéines coagulables, triglycérides riches en AGCCM*) facilite considérablement l'activité catalytique des lipases prégastriques. La chymosine, et secondairement la pepsine, provoquent la coagulation des caséines du lait entrainant la formation d'un caillot insoluble contenant notamment les triglycérides du lait et les lipases prégastriques. Le caillot ainsi constitué permet à la lipolyse de se développer efficacement :

- en offrant des conditions de pH proches du pH optimal d'activité des lipases, notamment de la lipase salivaire (pH compris entre 4,5 et 6, d'après GROSSKOPF, 1965 ; TOOTHILL *et al.,* 1975), à la différence du pH de la phase liquide du contenu stomacal qui est généralement plus acide (HILL *et al.,* 1970).

- en protégeant les enzymes de la protéolyse gastrique (COHEN *et al.,* 1971) et de l'inhibition au faible pH (SIEWERT et OTTERBY, 1970)

- enfin, en prolongeant le temps d'action des lipases sur les triglycérides par le ralentissement de l'évacuation gastrique du chyme alimentaire (COLVIN *et al.,* 1969 ; GUILLOTEAU *et al.,* 1975).

La lipase salivaire du Veau préruminant est particulièrement active vis-à-vis des triglycérides du lait entier puisque 1/2 heure après l'ingestion, 43 p.100 des triglycérides ingérés sont hydrolysés dans la caillette (SIEWERT et OTTERBY, 1968). Les triglycérides du lait, dont les AGCCM sont liés principalement en position 3 du glycérol, se révèlent être des substrats particulièrement bien adaptés à l'action de la lipase salivaire. En effet, l'enzyme possède une double spécificité de position et de nature de chaîne lui permettant de libérer préférentiellement les acides gras à chaînes courtes (C4 et C6) estérifiés en position 3 du glycérol (SIEWERT et OTTERBY, 1968 ; EDWARDS-WEBB et THOMPSON, 1978).

SIEWERT et OTTERBY (1971) ont également montré, *in vitro*, que la vitesse de lipolyse représentait 70 à 87 p.100 de celle obtenue avec des triglycérides du lait si on incorporait, dans les laits de remplacement, des triglycérides issus d'huiles végétales ou de matières grasses animales apportant des AGCCM (beurre, colostrum, huile de coprah). La vitesse de lipolyse est beaucoup plus réduite mais cependant pas négligeable avec des matières grasses ne contenant que des acides gras à chaînes longues comme le suif, le saindoux, l'huile de maïs ou de soja puisqu'elle représente encore 14 à 23 p.100 de celle du lait entier.

Les acides gras alimentaires quittent la caillette du Veau à mesure que le caillot se réduit puis disparait. Leur flux de passage dans le duodénum augmente fortement à partir de la 6ème heure qui suit l'ingestion du lait (TERNOUTH *et al.,* 1975 ; JOHNSON et LEIBHOLZ, 1976). Ces acides gras sont pour 50 à 75 p.100 sous forme de triglycérides, pour 10 à 25 p.100 sous forme de diglycérides et 25 p.100 sous forme d'acides gras libres, la lipolyse gastrique ne libérant qu'une quantité très faible (<3 p.100) de monoglycérides (TOULLEC et FELINSKI, 1971 ; EDWARDS-WEBB et THOMPSON, 1978). Les acides gras libres qui entrent dans le duodénum sont riches en acides gras longs mais pauvres en AGCCM, respectivement 72 p.100 et 66 p.100 des acides butyrique et caproïque alimentaires étant absorbés au niveau de la caillette (EDWARDS-WEBB et THOMPSON, 1978).

B. Chez le ruminant

L'animal préruminant, par exemple le Veau de Boucherie, se comporte comme un monogastrique fonctionnel ; l'aliment liquide (lait maternel ou lait de remplacement) qu'il reçoit déclenche le réflexe de fermeture des lèvres de la gouttière oesophagienne qui évite ainsi tout contact avec le rumen et lui permet d'atteindre directement la caillette. Le Ruminant, en revanche, possède un rumen bien développé qui comporte une population microbienne importante (10^{11} bactéries et 10^{6} protozoaires par ml de contenu du rumen) et très active.

Comme les glucides et les matières azotées, les lipides alimentaires subissent dans le rumen de profondes transformations : les lipases microbiennes hydrolysent quasi complètement les lipides estérifiés de l'aliment. Les acides gras (de type insaturé) ainsi libérés sont progressivement hydrogénés, ce qui conduit à la formation d'acides gras libres plus saturés.

1) Lipolyse microbienne

La lipolyse microbienne est la première étape de transformation des acides gras estérifiés alimentaires (glycolipides, phospholipides, triglycérides) dans le rumen.

Réactions très rapides et pratiquement complètes, les processus de lipolyse libèrent exclusivement des acides gras non estérifiés, à la différence du monogastrique où la lipolyse est incomplète. Elles sont catalysées pour l'essentiel par des hydrolases (galactosidases, phospholipases et lipases) d'origine bactérienne (HAWKE et SILCOCK, 1970). En effet, les enzymes des protozoaires (VIVIANI, 1970 ; GIRARD et

*AGCCM : acides gras à chaînes courtes et moyennes

TABLEAU 4

Digestion des acides gras chez 4 vaches frisonnes en lactation recevant de l'herbe à raison de 12kg/j de MS (Ray-Grass 2ème cycle)
(BAUCHART et VERITE, 1981)

	QUANTITE D'ACIDES GRAS (en g/24 h)			ACIDES GRAS APPAREMMENT ABSORBES DANS L'INTESTIN
	Ingéré	Entrant dans le duodénum (D)	Dans les fèces (F)	CUDa ($\frac{D-F}{D}$)
C16:0	42,9	24,0 ± 3,1	7,4 ± 2,0	68,0 ± 12,3
C18:0	8,5	89,8 ± 19,5	16,0 ± 3,2	81,8 ± 4,0
Σ C18:1	7,3	25,6 ± 4,3	1,4 ± 0,4	93,2 ± 2,3
Σ C18:2	32,4	9,0 ± 1,9	1,4 ± 0,2	83,7 ± 4,7
C18:3 (n-3)	158,5	4,6 ± 1,5	0,6 ± 0,1	87,2 ± 4,5
C15 + C17	-	5,1 + 0,9	2,7 + 0,5	46,5 + 8,0
Σ Ramifiés	0,6	11,8 + 1,8	6,0 + 1,7	48,3 + 18,1
Acides gras totaux	282	190 ± 27	43 ± 6	76,7 ± 5,8

HAWKE, 1978) ou des végétaux (DAWSON *et al.*, 1977) n'exercent pas dans le rumen d'activité lipolytique significative. La lipolyse constitue une étape préalable obligatoire pour la biohydrogénation des acides gras libérés, la fonction COOH libre étant indispensable pour initier la réaction.

2) *Biohydrogénation des acides gras*

Les acides gras alimentaires, en majorité de type polyinsaturé, sont fixés à la surface des particules alimentaires (HARTFOOT *et al.*, 1973) et y subissent une hydrogénation très rapide sous l'action d'hydrogénases extracellulaires produites par les bactéries et, à un degré moindre, par les protozoaires (VIVIANI, 1970).

L'hydrogénation des doubles liaisons est un processus à plusieurs étapes : 1) isomérisation d'une double liaison de type cis en type trans, 2) hydrogénation de (s) double (s) liaison (s) cis restantes, 3) éventuellement, hydrogénation de la double liaison trans restante (KEPLER *et al.*, 1966). Une fraction très importante d'acides gras polyinsaturés est ainsi transformée en acides gras saturés (acide stéarique : C18 : 0) et en acides gras monoinsaturés de type trans (ex. C18 : 1t, acide trans vaccénique). BAUCHART et VERITE (1981) ont ainsi observé, chez la Vache en lactation recevant de l'herbe, que 97 p.100 de l'acide linolénique (C18:3 n-3) et 59 p.100 d'acide linoléique (C18 : 2 n-6) avaient été hydrogénés dans le rumen (tabl. 4).

Une fraction des acides gras polyinsaturés alimentaires échappe néanmoins, à la biohydrogénation microbienne ; ils sont directement absorbés, sans transformation, par les micro-organismes eux-mêmes et intégrés dans leurs lipides de structure (EMMANUEL, 1978 ; GIRARD et HAWKE, 1978).

3) *Synthèse d'acides gras microbiens*

Les microorganismes du rumen synthétisent des acides gras à longue chaîne à partir d'acides gras volatils à chaîne linéaire (C2, C3) ou ramifiée (iso C4 et iso C5) produits lors de la fermentation des nutriments glucidiques ou azotés dans le rumen. L'orientation des synthèses varie selon le type de population microbienne (induite par la nature et la composition des aliments) et également selon les différentes phases de croissance de cette population (IFKOVITS et RAGHEB, 1968). Les microorganismes produisent généralement (tabl. 4) des acides gras saturés de type linéaire à chaîne paire (C16 : 0) ou impaire (C15 : 0,C17 : 0), ou de type ramifié (iso C15 et ant C15 ; iso C17 et ant C17) (DAWSON et KEP, 1979). A partir du phytol (constituant alcoolique des chlorophylles), les bactéries produisent des acides gras saturés polyramifiés (acides pristanique et phytanique ; HANSEN, 1966).

Les acides gras synthétisés par les microorganismes sont, pour l'essentiel, retenus dans les structures cellulaires sous forme de phospholipides (30 p.100) et d'acides gras libres (70 p.100) (VIVIANI, 1970) ; une faible proportion est émise, sous forme libre, dans le liquide du rumen (BISHOP et WORK, 1965) puis s'adsorbent sur les particules alimentaires non dégradées (WARD *et al.*, 1964).

4) *Bilan de la digestion dans le rumen*

Les lipides alimentaires sont donc, chez le Ruminant, fortement remaniés par les microorganismes au cours de leur séjour dans le rumen (fig. 2).

Les mesures de flux net journalier des lipides à travers le rumen, effectuées chez le Mouton (SUTTON *et al.*, 1970 ; OUTEN *et al.*, 1974 ; KNIGHT *et al.*, 1977, 1978), la Vache laitière (BRUMBY *et al.*, 1979) ou la Chèvre (BICKERSTAFFE *et al.*, 1972) ont établi que les quantités d'acides gras qui quittent le rumen sont généralement plus élevées (jusqu'à 2 fois) que les quantités ingérées, en raison probablement de l'addition d'acides gras microbiens synthétisés dans le rumen.

Cette augmentation peut néanmoins varier en importance en fonction de différents facteurs alimentaires. Elle est généralement très élevée (20 à 100 p.100) avec des aliments secs (foin, concentrés), mais elle est réduite ou nulle avec les mêmes aliments supplémentés en huiles végétales ou animales (HOGAN *et al.*, 1972 ; SUTTON *et al.*, 1975 ; KNIGHT *et al.*,

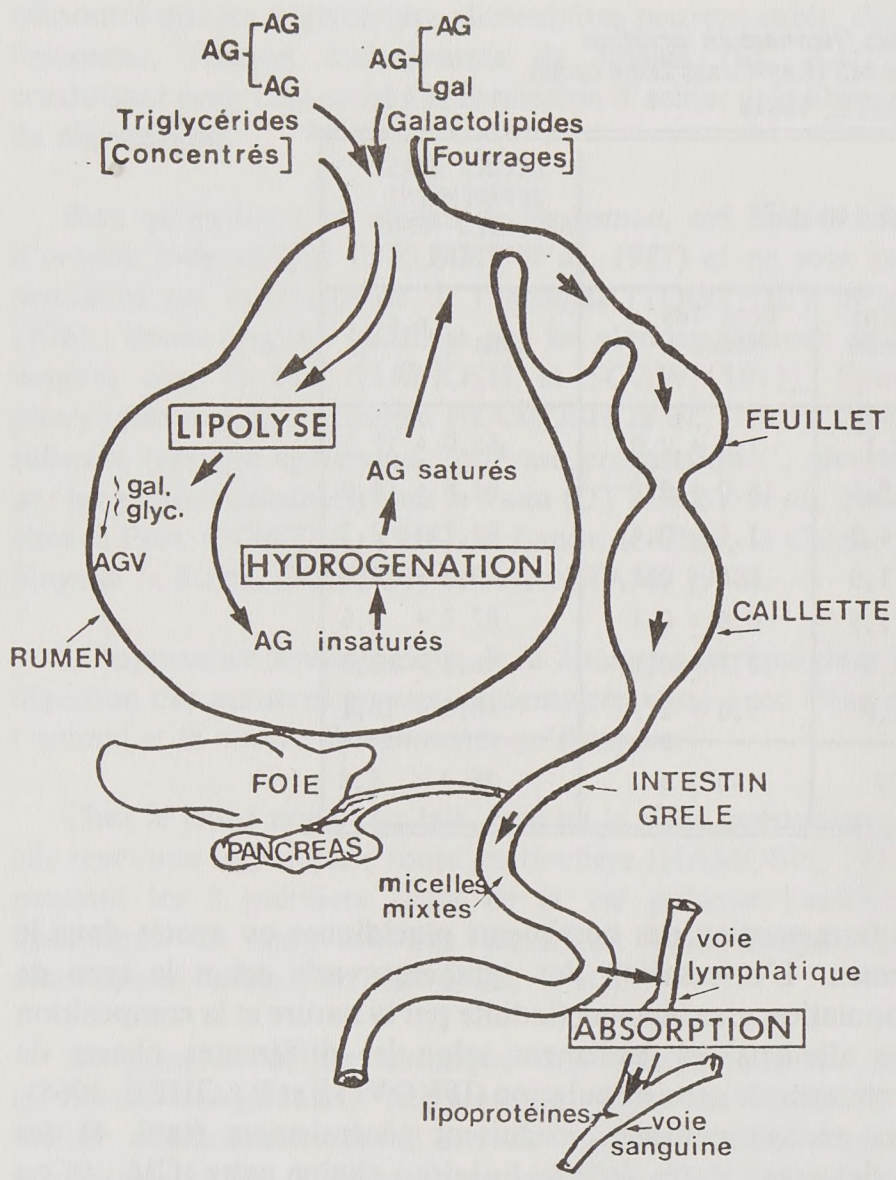


FIG. 2 : *Digestion et absorption des lipides chez le Ruminant*

gal = galactose AG = acides gras
glyc = glycérol AGV = acides gras volatils

1977 ; BINES *et al.,* 1978) ou même franchement négative avec des rations constituées exclusivement de fourrages verts (OUTEN *et al.,* 1975 ; BAUCHART et VERITE, 1981 ; tabl. 4). Dans ces deux derniers cas, les mécanismes biochimiques ne sont pas clairement élucidés. Il a été, néanmoins, démontré qu'en présence de fortes teneurs en acides gras dans le milieu d'incubation, les microorganismes du rumen incorporent *in vitro* préférentiellement les acides gras exogènes (alimentaires) et réduisent leurs propres synthèses d'acides gras (DEMEYER *et al.,* 1978). Par ailleurs, la perte nette d'acides gras longs enregistrée avec des fourrages verts (tabl. 4), pourrait s'expliquer par le catabolisme microbien d'une fraction des acides gras alimentaires ; *in vitro*, ce catabolisme conduit à la formation de corps cétoniques (HIRD *et al.,* 1966 ; JACKSON *et al.,* 1968). L'absorption directe des acides gras alimentaires par la paroi du rumen jouerait par contre un rôle négligeable puisqu'elle est très faible pour les acides gras à chaînes longues (WOOD *et al.,* 1963) alors qu'elle est élevée pour les acides gras à chaînes courtes (EDRISE *et al.,* 1978) ou moyennes ($\leqslant$C12) (KNIGHT *et al.,* 1977 ; HAGEMEISTER *et al.,* 1979).

III - Digestion et absorption dans l'intestin grêle

A. Chez le monogastrique et le préruminant

1) Etat physiologique

Au cours de leur transit dans l'estomac, les lipides alimentaires sont grossièrement émulsifiés* dans le contenu digestif par des mouvements de malaxage et de brassage. A l'entrée dans le duodénum, l'émulsion est considérablement affinée par l'association des lipides avec les sels biliaires conjugués de la bile émis dans le contenu duodénal. Grâce à leurs propriétés amphiphiles (caractère mixte hydrophile et lipophile), les sels biliaires tapissent les gouttelettes lipidiques en s'adsorbant à leur surface, ce qui assure la stabilité des globules d'émulsion ainsi formés (fig. 3).

2) Hydrolyse des lipides alimentaires

La lipase pancréatique (glycérol ester hydrolase : EC 3.11.3) est apportée dans le contenu duodénal par le suc pancréatique et intimement mélangée au chyme alimentaire. Elle catalyse la réaction d'hydrolyse des triglycérides insolubles dans l'eau. Le contenu digestif, acidifié dans l'estomac, est neutralisé notamment par les ions bicarbonates du suc pancréatique et de la bile, ce qui permet une activité lipolytique optimale.

Le site de la réaction est consitué par l'interface eau-huile des globules d'émulsion sur laquelle la lipase a la propriété de s'adsorber. La vitesse de lipolyse est proportionnelle à la surface des globules et est donc d'autant plus élevée que l'émulsion est fine (SARDA et DESNUELLE, 1958).

L'adsorption de la lipase pancréatique sur les globules lipidiques nécessite la présente d'un cofacteur protéique d'origine pancréatique, la colipase (BORGSTROM et ERLANSON, 1973). Ce cofacteur peut s'adsorber à la surface hydrophile des sels biliaires qui tapissent les globules d'émulsion et y subit un changement de conformation libérant un site de fixation pour la lipase. Un complexe lipase-colipase-sels biliaires est ainsi constitué permettant à l'enzyme de franchir la couche hydrophile de sels biliaires pour atteindre la surface hydrophobe des globules lipidiques, site de l'activité lipasique (CHAPUS *et al.,* 1975 ; fig. 4).

La lipolyse intestinale, à la différence de la lipolyse bactérienne dans le rumen, est incomplète car elle ne libère que des acides gras libres et des 2-monoglycérides (SAVARY et DESNUELLE, 1956). La lipase pancréatique de la plupart des monogastriques possède donc une spécificité d'action caractérisée par l'attaque quasi exclusive des liaisons esters des positions 1 et 3 des triglycérides, indépendamment de l'état de saturation des chaînes grasses (ENTRESSANGLES *et al.,* 1966)** (fig. 5).

*Dans le cas de lait ou d'aliment d'allaitement, les lipides sont déjà très finement émulsifiés, la stabilité de l'émulsion étant assurée par des protéines et des agents émulsifiants (lécithine...).

**Dans le cas des poecilothermes (monogastriques vertébrés inférieurs), la spécificité d'action est plus complexe puisqu'elle combine la spécificité pour les positions 1 et 3 et la spécificité de nature de chaîne (libération préférentielle des acides gras insaturés) (LEGER et BAUCHART, 1972).

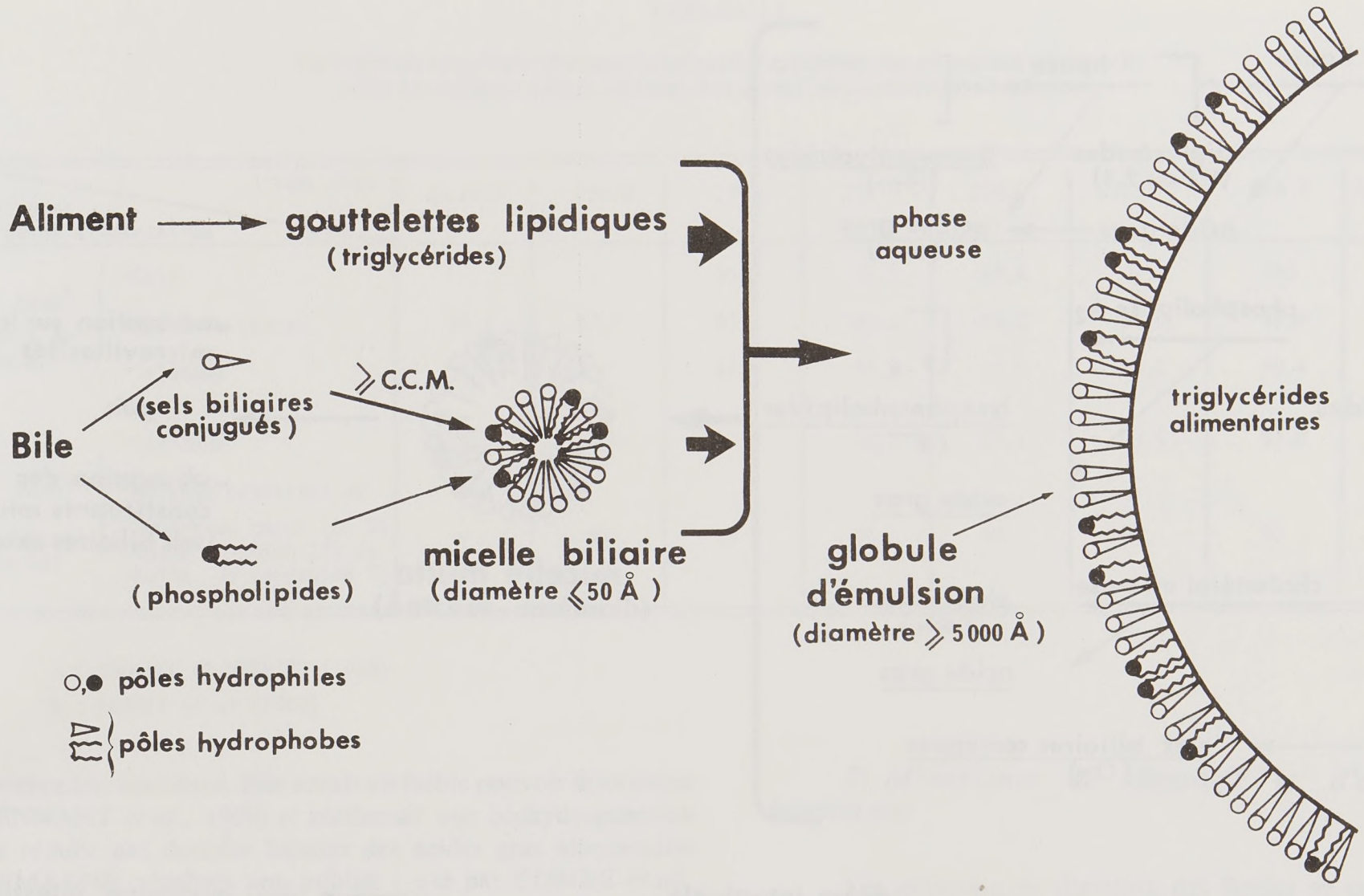


FIG. 3 : *Formation des micelles biliaires et des globules d'émulsion stabilisés dans la lumière intestinale*

C.C.M. = concentration critique micellaire

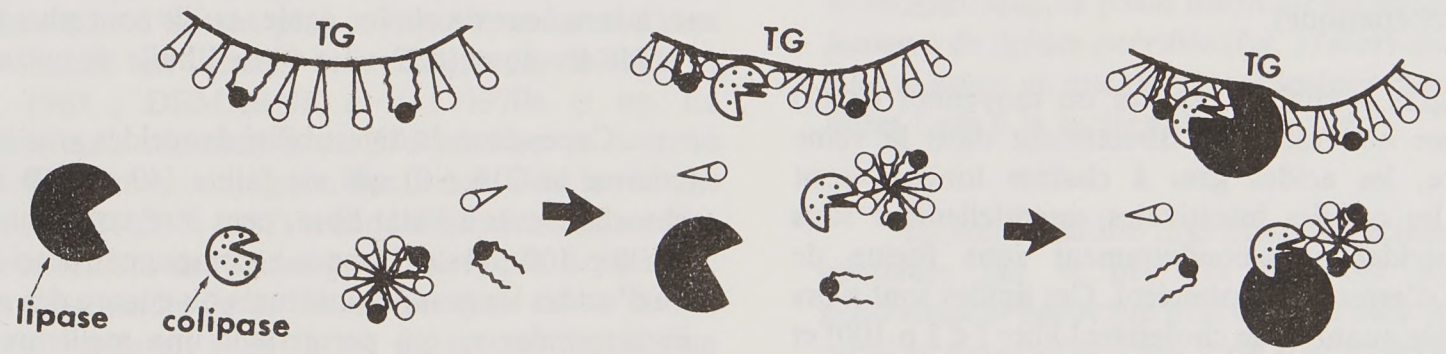


FIG. 4 : *Adsorption de la lipase à la surface des globules d'émulsion* (d'après CHAPUS et al, 1975)

Etape A : la lipase n'a pas d'affinité vis-à-vis des sels biliaires
Etape B : la colipase s'absorbe à l'interface des globules et sur les micelles pour former un complexe colipase-sels biliaires.
Etape C : la lipase peut se fixer sur le complexe colipase-sels biliaires au niveau des globules d'émulsion.

3) *Absorption intestinale des produits de la lipolyse*

Des micelles mixtes, solubles dans les contenus intestinaux, sont constitués à partir des sels biliaires et des produits de l'hydrolyse des lipides alimentaires : acides gras et 2-monoglycérides (à partir des triglycérides) acides gras et lysophospholipides (à partir des phospholipides alimentaires ou biliaires) acides gras et cholestérol (à partir des esters de cholestérol) (fig. 5).

Ces micelles représentent la forme principale d'absorption des matières grasses (BORGSTRÖM, 1962) par les cellules épithéliales de la muqueuse du duodénum et surtout du jéjunum. Les sels biliaires restent, par contre, dans le contenu

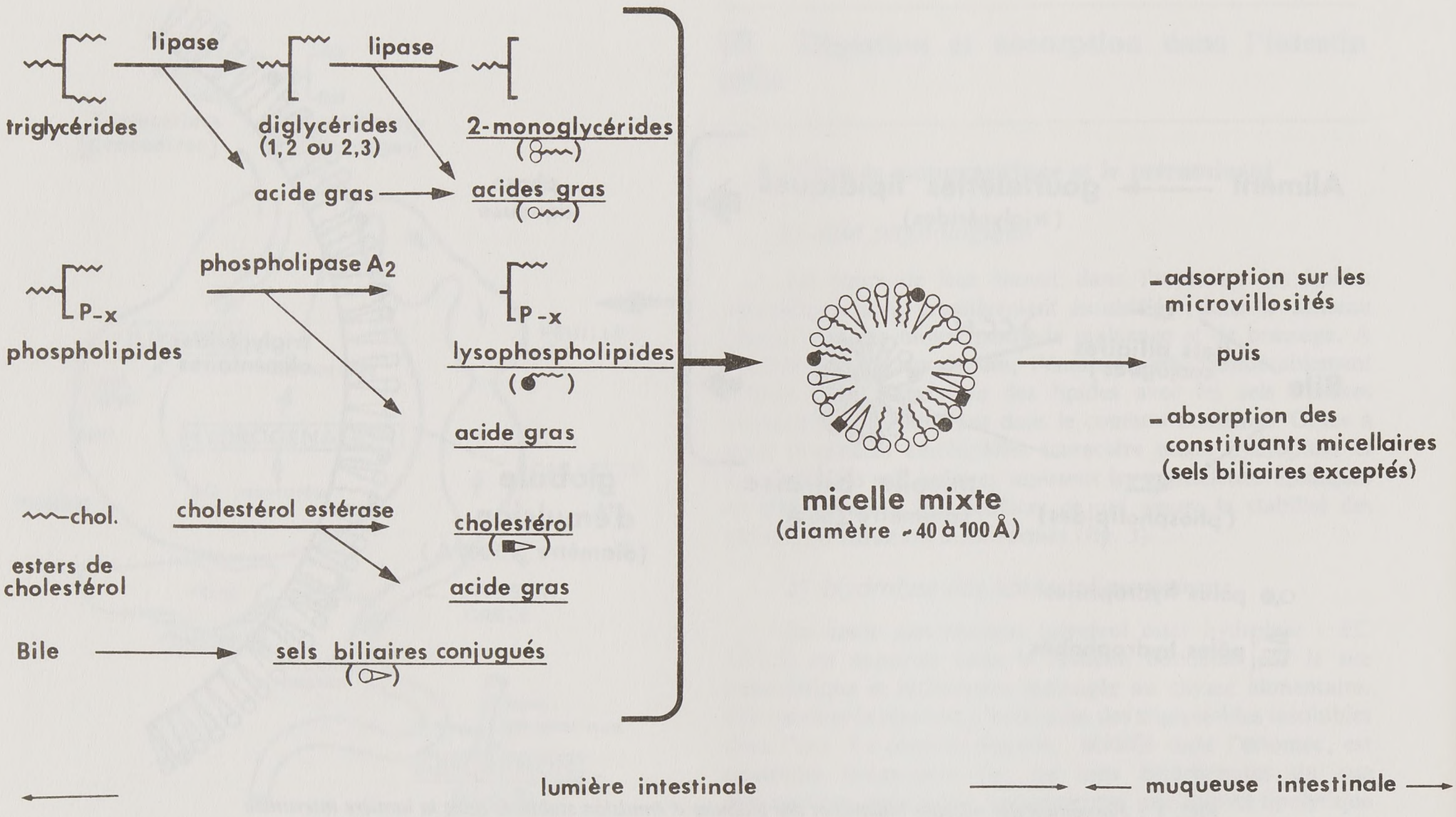


FIG. 5 : *Principales étapes de la digestion et de l'absorption intestinale des lipides alimentaires chez le Monogastrique et le Préruminant.*

intestinal ; ils sont absorbés plus tard dans l'iléon (extrémité distale de l'intestin grêle) et retournent au foie par la veine porte (cycle entérohépatique).

Les acides gras à chaînes courtes ou moyennes ($\leqslant$12) passent sous forme non estérifiée directement dans la veine porte. Par contre, les acides gras à chaînes longues sont réestérifiés dans les cellules intestinales essentiellement sous forme de triglycérides et secondairement sous forme de phospholipides et d'esters de cholestérol. Ces lipides sont alors associés à une faible quantité de cholestérol libre ($<$3 p.100) et de protéines ($\leqslant$ 2 p.100) pour être émis dans la lymphe sous la forme de complexes lipoprotéiques de très basse densité : *les VLDL et les chylomicrons.* Ces lipoprotéines passent ensuite dans la circulation sanguine générale pour être dégradées et prélevées par les tissus adipeux et secondairement par le foie.

Contrairement à ce qui se passe chez le Ruminant, le degré de saturation des acides gras n'est pas modifié par les processus de digestion. Chez le Veau préruminant, la composition en acides gras longs des lipides de la lymphe (TOULLEC, 1968) ou des triglycérides des chylomicrons BAUCHART, 1981) est très voisine de celle des matières grasses alimentaires et influence directement la composition des graisses corporelles (TOULLEC et MATHIEU, 1969).

4) Digestibilité des matières grasses

La digestibilité apparente des matières grasses chez les monogastriques est élevée, généralement supérieure à 80 p.100 chez le Porc (FLANZY *et al.,* 1968) et comprise entre 90 à 97 p.100 chez le Veau recevant du lait ou des aliments d'allaitement (TOULLEC et MATHIEU, 1969) (tabl. 5).

Elle varie essentiellement selon *la nature des acides gras ;* les acides gras sont d'autant mieux absorbés qu'ils sont courts et, à longueur de chaîne égale, qu'ils sont plus insaturés, sauf l'acide érucique (C22 : 1 n-9) de l'huile de colza.

Cependant, la digestibilité des acides gras longs et saturés (comme le C16 : 0) qui est faible (40 p.100) lorsqu'ils sont absorbés seuls à l'état libre, peut être notablement augmentée ($>$ 90 p.100) lorsqu'ils sont accompagnés d'acides gras courts ou d'acides longs monoinsaturés ou encore des monoglycérides correspondants, qui permettent une meilleure solubilisation micellaire (SAVARY et CONSTANTIN, 1967). De même, cette digestibilité peut être améliorée lorsque les acides gras saturés sont estérifiés en position interne (position 2) des triglycérides comme dans le cas du saindoux ou des matières grasses du lait. Dans ce dernier cas, la lipolyse libère des 2-monoglycérides saturés dont la solubilité micellaire est très largement supérieure à celle des acides gras libres correspondants. Par contre, dans le cas du suif ou de l'huile de palme, la lipolyse libère des acides gras saturés faiblement solubles dans les micelles et qui, de ce fait, sont exposés à la précipitation par les ions CA^{++}. Ils donnent naissance ainsi à des savons insolubles non assimilables par la muqueuse intestinale et excrétés dans les fèces (IRANI et CALLIS, 1960).

L'addition *d'émulsifiant* exerce un effet favorable sur la digestibilité des matières grasses, surtout lorsque la digestibilité naturelle n'est pas très élevée comme dans le cas du suif (RAVEN, 1970).

Chez les monogastriques, *la microflore gastrointestinale* exerce sur la digestion des lipides un rôle beaucoup plus limité

TABLEAU 5

Variation du coefficient d'utilisation digestive apparente des principaux acides gras selon les matières grasses ingérées chez le veau de boucherie et chez le porc

Matières grasses alimentaires \ Acides gras		⩽C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	Acides gras totaux
Veau[a] (20 % de la MS)	-Suif	-	-	94,0	85,9	81,4	97,0	100	90,3
	-Huile de coprah	99,1	97,1	93,8	90,0	85,3	96,0	98,5	95,5
	-Saindoux	-	-	97,6	94,7	90,6	98,2	99,4	96,1
Porc[b] (13 % de la MS)	-Saindoux	-	-	-	86,2	53,1	90,9	97,0	84,4
	-Mélange constitué de beurre de cacao (50 %) huile de coton (15 %) huile de coprah(35 %)	-	88	66	46	40	90	95	70,0

a : TOULLEC et MATHIEU (1969)

b : FLANZY et al (1968)

que chez les ruminants. Elle aurait un faible pouvoir lipolytique (TENNANT *et al.,* 1969) et réaliserait une biohydrogénation très réduite des doubles liaisons des acides gras alimentaires (DEMARNE, résultats non publiés ; cité par COMBE *et al.,* 1976).

Cependant, en comparant les effets observés chez des animaux conventionnels (holoxéniques) et des animaux sans flore intestinale (axéniques), plusieurs auteurs ont montré que la présence de microorganismes dans les contenus intestinaux diminuait de 5 à 10 p.100 la digestibilité apparente des acides gras. Cet effet étant d'autant plus marqué que les matières grasses sont riches en acides gras saturés (BOYD et EDWARDS, 1967 ; DEMARNE *et al.,* 1970a et b). La microflore intestinale réduirait à un 1/3 environ le contenu intestinal en sels biliaires conjugués, diminuant ainsi le volume micellaire (BORGSTRÖM, 1967) et conduisant à une mauvaise solubilisation micellaire des acides gras libérés par la lipolyse. Une fraction des acides gras libres resterait sous forme émulsifiée et précipiterait sous forme de savons de calcium insolubles.

B. Chez le ruminant

1) Etat physique et nature chimique des lipides alimentaires

Les lipides alimentaires qui pénètrent avec le chyme alimentaire dans l'intestin grêle, sont composés, en majorité (70 à 80 p.100), d'acides gras non estérifiés (AGNE) (produits de la lipolyse microbienne dans le rumen) et d'une faible quantité de lipides estérifiés (20 à 30 p.100) dont la moitié serait constituée par des phospholipides (LENNOX *et al.,* 1968 ; LEAT et HARRISON, 1969), d'origines microbienne et biliaire. Ces lipides sont, pour la quasi totalité (à 95 p.100 pour les AGNE ; à 70 p.100 pour les phospholipides), liés à des particules insolubles (SCOTT et LOUGH, 1971). Ces particules sont constituées soit par des débris de matières végétales alimentaires, soit par des fragments de cellules de micro-organismes ou de cellules endothéliales desquamées des parois digestives (SCOTT *et al.,* 1969 ; HARRISON et LEAT, 1972).

2) Mécanismes de digestion et d'absorption intestinales

Les processus de digestion des lipides se caractérisent, chez le Ruminant, comme chez le Monogastrique, par le transfert d'acides gras d'une phase insoluble dans une phase micellaire soluble qui permet leur absorption par la muqueuse intestinale. Néanmoins, ce système biphasique diffère fondamentalement pour les deux types d'animaux par la structure physique et chimique de la phase insoluble ; chez le Monogastrique, la phase insoluble est constituée par une *phase huileuse* de lipides estérifiés (fig. 3) alors que chez le Ruminant, elle consiste en une *phase particulaire* composée d'acides gras libres fixés à la surface des particules.

La solubilisation micellaire des acides gras est fortement contrôlée par le pH des contenus digestifs ; elle est généralement beaucoup plus difficile dans les zones de l'intestin grêle correspondant à une forte acidité, les acides gras étant peu ou pas ionisés en milieu acide.

Chez le Ruminant, les contenus digestifs acidifiés dans la caillette, subissent dans les parties proximales de l'intestin grêle une neutralisation incomplète par les ions bicarbonates (CAPLE et HEATH, 1972). Ce phénomène résulte vraisemblablement d'un faible volume de sécrétion pancréatique par rapport au volume du contenu digestif, ce qui limiterait l'apport d'ions bicarbonates.

A mesure que les contenus digestifs progressent dans l'intestin grêle, le pH augmente (ARIENTI *et al.,* 1974), ce qui permet une meilleure solubilisation des acides gras. LEAT et HARRISON ont estimé chez le Mouton, que la proportion d'acides gras solubilisés dans les micelles (par rapport aux acides gras totaux du contenu intestinal) est de 5 p.100 dans le duodénum (pH compris entre 2 et 3), de 20 p.100 dans le jéjunum (pH compris entre 3 et 5) et de 50 p.100 dans l'iléon (pH ⩾7).

Les micelles mixtes sont essentiellement composés de sels biliaires conjugués de lysolécithines (composés à caractère amphiphile) et d'acides gras libres. Leur structure diffère de celle qui prédomine chez le Monogastrique par l'absence de 2-monoglycérides et leur remplacement par des lysolécithines (produits de la phospholipolyse) (SMITH et LOUGH, 1976). Le taurocholate de sodium, principal sel biliaire conjugué chez le Ruminant, favorise la solubilisation partielle des acides gras libres dans des conditions acides défavorables en restant en partie ionisée, ce qui lui permet de constituer des micelles.

Le suc pancréatique possède l'équipement enzymatique complet (lipase, colipase, phospholipases, cholestérol estérase) potentiellement actif semblable à celui du Monogastrique. Cependant, il exerce dans la digestion des lipides un rôle beaucoup plus limité que chez le Monogastrique. La lipolyse est très réduite* en raison de la faible quantité de triglycérides présents généralement dans le chyme alimentaire, sauf avec des aliments contenant des lipides protégés. Dans ce dernier cas, la lipolyse procède selon les mêmes modalités que pour le Monogastrique.

Les sites d'absorption intestinale des lipides se localisent chez le Ruminant comme chez le Monogastrique dans la première moitié de l'intestin grêle. Chez le Mouton, 60 à 85 p.100 des acides gras totaux du contenu digestif sont absorbés au niveau du jéjunum moyen et distal (LENNOX et GARTON, 1968 ; LEAT et HARRISON, 1974 ; OUTEN *et al.*, 1975) en dépit des conditions acides (pH 3 à 6) apparemment défavorables (pH proche de 7 chez le Monogastrique). L'absorption ultérieure dans l'iléon reste très limitée malgré un pH proche de la neutralité (GARTON, 1969).

La réestérification intestinale des acides gras suit des voies semblables à celles observées chez le Monogastrique, sauf dans le cas des triglycérides où les précurseurs sont différents. Chez le Ruminant, les triglycérides sont resynthétisés à partir de l'α glycérophosphate (et non pas à partir des 2-monoglycérides comme chez le Monogastrique) en raison de l'hydrolyse totale des triglycérides dans le rumen.

Les lipides sont essentiellement émis dans la lymphe sous forme de lipoprotéines de très basse densité. Ils sont localisés principalement dans les VLDL (73 p.100) et secondairement dans les chylomicrons (27 p.100) en raison du caractère très saturé des acides gras alimentaires qui s'incorporent préférentiellement dans les VLDL au détriment des chylomicrons (HARRISON *et al.*, 1974 ; BACQUES et VAITON, 1976). Par contre, lorsque HARRISON *et al.*, (1974) ont infusé de l'huile de maïs (très riche en acides gras insaturés) directement dans le duodénum évitant ainsi l'hydrogénation des acides gras dans le rumen, 38,5 p.100 des lipides de la lymphe étaient seulement localisés dans les VLDL et 61,5 p.100 dans les chylomicrons.

3) Digestibilité des acides gras

La digestibilité apparente des matières grasses chez le Ruminant est généralement aussi élevée ($\geq$ 85 p.100) que chez le Monogastrique en dépit du caractère très saturé des acides gras alimentaires qui entrent dans le duodénum (ANDREWS et LEWIS, 1970). Les coefficients d'utilisation digestive (CUD) des acides gras, déterminés par la comparaison des quantités de chaque acide gras qui entrent puis quittent l'intestin grêle, sont beaucoup plus stables chez le Ruminant (tabl. 4) que chez un monogastrique comme le Porc (tabl. 5), quel que soit le type d'acides gras. La digestibilité des acides gras saturés chez le Ruminant est égale ou supérieure (70 à 85 p.100) à celle observée chez le Monogastrique alors qu'elle est légèrement inférieure ou égale dans le cas des acides insaturés ($\simeq$90 p.100).

L'absorption des acides gras chez le Ruminant apparait donc à la fois plus efficace et moins sélective que chez le Monogastrique, FELINSKI *et al.*, (1964) ayant notamment observé une grande similarité de composition en acides gras entre la fraction "acides gras non estérifiés" du contenu jéjunal et les lipides absorbés présents dans la lymphe. Chez le Ruminant, l'émission lente et continue d'une faible quantité de lipides du rumen dans le contenu duodénal pourrait faciliter la mise en solubilisation micellaire des acides gras et augmenterait ainsi l'efficacité d'absorption intestinale (HEAT et HILL, 1969 ; NOBLE, 1978).

Conclusion

Si le principe général de la digestion des lipides alimentaires chez les animaux monogastriques et préruminants et les animaux ruminants consiste en l'hydrolyse des lipides estérifiés puis l'absorption des produits de lipolyse par les cellules de la muqueuse intestinale, la nature, l'orientation et l'intensité des mécanismes mis en jeu au cours de ces phénomènes sont profondément influencés par les caractéristiques alimentaires, anatomiques et physiologiques propres à chacun des deux types d'animaux.

Les principales particularités qui caractérisent et éventuellement différencient les processus de digestion chez les monogastriques et les ruminants se résument de la façon suivante :

- *les lipides alimentaires* sont chez les monogastriques généralement diversifiés et peuvent être abondamment représentés dans les rations alimentaires (jusqu'à 22 p.100 de la MS chez les jeunes nourris au lait). Ils sont constitués par des triglycérides riches en acides gras saturés et monoinsaturés de type C16 et C18 et peuvent être pauvres en acides gras polyinsaturés ; chez les ruminants, les régimes sont généralement pauvres en lipides (2 à 8 p.100 de la MS) ; les acides gras, essentiellement de type C18 polyinsaturé, sont incorporés dans des glycolipides (fourrages) ou des triglycérides (aliments concentrés).

- *la digestion préduodénale* est limitée chez les monogastriques, les triglycérides alimentaires étant peu remaniés jusqu'à leur entrée dans l'intestin grêle ; cependant, au cours de la période d'alimentation lactée, les triglycérides subissent au niveau de l'estomac une hydrolyse incomplète sous l'action de lipases prégastriques qui libèrent des glycérides partiels et des acides gras (principalement à chaînes courte ou moyenne).

Chez les ruminants, les lipides sont hydrolysés en quasi totalité dans le rumen par des lipases d'origine bactérienne. Les acides gras libérés se fixent aux particules alimentaires non dégradées pour y subir une hydrogénation microbienne intense produisant ainsi des acides gras essentiellement de type saturé

*On peut cependant noter que les phospholipases pancréatiques essentiellement de type A_2 (actives à pH 4,2) exercent un rôle important dans la constitution des micelles en libérant par hydrolyse des lysolécithines à partir des lécithines biliaires.

ou monoinsaturé. Ces acides gras quittent le rumen en quantité parfois supérieure à la quantité ingérée en raison de l'addition d'acides gras d'origine microbienne synthétisés et libérés dans le contenu du rumen, sauf dans le cas des fourrages verts.

- *la digestion dans l'intestin grêle* consiste en un transfert d'acides gras d'une phase insoluble dans une phase micellaire soluble permettant leur absorption par la muqueuse intestinale.

Chez les monogastriques, le transfert nécessite l'hydrolyse préalable, par la lipase pancréatique, des lipides émulsionnés par les constituants biliaires. Les produits de la lipolyse (acides gras libres et 2-monoglycérides) sont solubilisés avec des sels biliaires conjugués, dans des micelles mixtes et absorbés par les cellules épithéliales de l'intestin.

Chez les ruminants, le processus de transfert consiste en une désorption des acides gras liés aux particules et une solubilisation dans des micelles mixtes en présence de sels biliaires. Le rôle du suc pancréatique se limite dans ce cas à libérer, par hydrolyse, des lysolécithines constituants amphiphiles indispensables à l'édification des micelles mixtes, à partir des lécithines apportées par la bile.

- *la digestion des matières grasses* (mesurée par celle des acides gras) est généralement élevée chez les monogastriques (» 85 p.100) mais peut varier considérablement selon la nature chimique des acides gras et leur forme d'estérification. Chez les ruminants, la digestibilité des acides gras est également élevée malgré le caractère saturé des acides gras. L'absorption est, de ce fait, à la fois plus efficace et moins sélective que chez la plupart des monogastriques.

Références bibliographiques

La liste complète des références bibliographiques est disponible chez l'auteur.

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) 57-62

Utilisation d'un conservateur d'ensilage d'herbe granulé : le Kofasil-Plus

A. MULLER

Domaine Expérimental INRA - Le Pin-au-Haras
61310 Exmes

Le choix, par l'éleveur, d'un conservateur d'ensilage d'herbe dépendra en premier lieu de son efficacité zootechnique, c'est-à-dire de ses effets sur le niveau d'ingestion et la protection des matières azotées. D'autres facteurs influent aussi sur son choix : la réduction des pertes, les facilités d'emploi, sans oublier le coût du produit ...

Les utilisateurs reprochent aux conservateurs acides, dont l'incorporation et le dosage ne posent pas de problème, d'émettre des vapeurs (yeux), de provoquer des brûlures (mains, habits) et une corrosion du matériel métallique (goulotte d'ensileuse en particulier). Ces raisons, ainsi que la crainte de retarder le chantier de récolte, incitent nombre d'entrepreneurs et de CUMA à refuser leur emploi. Certains conservateurs non acides imposent des contraintes, telle qu'une préparation (mélange ou mise en solution 1 à 2 jours à l'avance) ce qui présente toujours des risques (ajustement des quantités, intempéries), ou une dilution dans de l'eau chaude (mélasse) pour pouvoir être régulièrement épandus, etc...

Il était donc intéressant de tester un conservateur prêt à l'emploi, sous forme granulée, dont les avantages sont multiples : facilités de stockage et de dosage, sécurité dans les manipulations. Le métabisulfite de sodium, qui agit par le dioxyde de soufre qu'il dégage, a été ainsi expérimenté ; cependant, il a comme sérieux inconvénients de réduire peu la protéolyse et surtout de faire baisser fortement l'ingestibilité du fourrage. Depuis 1948, l'association formiate de calcium-nitrite de sodium a été préconisée en R F A ; les résultats irréguliers obtenus ont conduit à y associer de l'hexamethylène tétramine qui dégage de l'aldéhyde formique dans le silo et dont les propriétés de tannage des protéines sont bien connues. La formule commercialisée sous le nom de ''Kofasil-plus'' comprenait ainsi :

- 60 p.100 de formiate de calcium
- 25 p.100 de nitrite de sodium
- 14 p.100 d'hexaméthylène-tétramine
- 1 p.100 d'oligo-éléments

C'est cette formule que nous avons utilisée au Domaine INRA au Pin-au-Haras dans deux essais, l'un où l'ensilage traité est mis en comparaison avec un ensilage sans conservateur, l'autre où son effet est comparé à celui de l'acide formique.

I. Conditions expérimentales

Les fourrages utilisés étaient des ray-grass anglais au premier cycle de printemps récoltés à la pleine épiaison et ensilés dans des silos couloir bétonnés. Nous les avons récoltés avec une ensileuse à tambour hacheur équipée à la fois d'un distributeur d'acide par gravité et d'un distributeur de granulés entraîné par un moteur à essence de 0,5 CV. Les deux ensilages mis en comparaison dans chaque essai ont ainsi été récoltés au même moment dans des conditions comparables. Les doses de conservateur ont été reportées au tableau 1. les ensilages ont été consommés l'hiver suivant par des jeunes bovins en stabulation libre avec aire de couchage paillée.

Pour le premier essai, 28 génisses de 2 ans, de races normande et charolaise, ont été réparties en deux lots comparables de 14 animaux chacun d'après leur race, leur poids vif et leur gain de poids journalier au cours de l'été précédent. Pour le second essai, nous avons utilisé 52 taurillons âgés d'un an des mêmes races qui ont été appariés selon les mêmes critères que dans l'essai 1.

Pour les deux essais, une période préexpérimentale de 3 à 4 semaines sur un même ensilage d'herbe nous a permis de constituer les 2 lots expérimentaux. Ensuite, nous avons utilisé un schéma expérimental avec inversion comportant deux périodes de 6 ou 7 semaines de mesure chacune, ce qui nous a permis de tester successivement les deux ensilages sur les mêmes animaux ; chaque période a été précédée de 10 jours de transition.

TABLEAU I

Caractéristiques des ensilages utilises
(moyennes de quatre mesures par ensilage)

	Essai 1		Essai 2	
Conservateur (par tonne de fourrage vert)	Témoin	Kofasil-plus 2 kg	Acide formique 2,2 l	Kofasil-plus 2 kg
Taux de MS (moyenne hiver)	27,0	28,8	19,9	19,4
Caractéristiques fermentaires				
pH	4,27	4,35	3,59	3,78
Acide lactique g/kg MS	49,9	49,6	147,3	124,9
Acide acétique g/kg MS	26,9	26,4	22,1	42,0
Acide propionique g/kg MS	1,6	1,0	0,2	2,7
Acide butyrique g/kg MS	17,1	0	0,6	3,0
Acide valérique g/kg MS	/	/	/	0,1
Alcools g/kg MS	10,1	4,6	16,9	14,0
Matières azotées totales - g/kg MS	94	92	104	104
$N\text{-}NH_3$ en % N total	7,6	7,6	6,6	8,6
N-Soluble en % N total	53,0	52,6	55,0	48,4
Total éléments volatils en g/kg MS	55,7	35,1	57,1	72,5
Digestibilité CUD MO	72,4	72,4	77,6	76,0
CUD MA	44,5	42,5	55,8	49,1
Ingestibilité sur moûtons en g MS/kg $P^{0,75}$	59,0	56,8	51,5	41,4

En plus de l'ensilage, la ration comportait une petite quantité de tourteau de soja 48-50 à raison de 650 g (essai 1) et de 575 g (essai 2) par animal et par jour. Par ailleurs, un complément minéral granulé de type 12 (P) - 16 (Ca) a été apporté chaque jour sur l'ensilage à raison de 70 g (essai 1) et de 100 g (essai 2) par animal.

Les quantités d'ensilages offertes à volonté et refusées (5 à 8 p.100 de l'offert) ont été pesées 4 à 5 jours par semaine, et le taux de matière sèche de l'ensilage offert a été déterminé à l'étuve à 80° 1 à 3 fois par semaine. Les génisses et les taurillons ont été pesés deux jours consécutifs à la même heure pour constituer les lots comparables, ainsi qu'au début et à la fin de chaque période expérimentale ; ils ont également été pesés deux fois au cours de chacune de ces périodes.

Simultanément chaque ensilage a été offert comme seul aliment à un lot de 6 moutons placés en cages à bilan, afin de déterminer son ingestibilité et sa digestibilité : après une période d'adaptation de deux semaines, la mesure expérimentale a duré 10 jours. De plus, lors de l'essai 2, nous avons procédé au recueil et à l'échantillonnage des urines afin d'estimer l'azote retenu par les moutons consommant chacun des 2 ensilages.

Les caractéristiques fermentaires de chaque ensilage ont été mesurées sur 3 à 4 échantillons congelés aussitôt après leur prélèvement au silo et transportés en caisson isotherme au Laboratoire des Aliments de l'INRA à Theix (63) pour réaliser les analyses.

En outre, 3 bouvillons porteurs d'une fistule du rumen et d'un poids vif comparable à celui des taurillons utilisés dans l'essai 2 ont reçu, dans les mêmes proportions que ceux-ci et à même niveau d'ingestion (rapporté au poids vif), les différents aliments expérimentaux (ensilage + tourteau de soja + minéraux). Ce dispositif a permis de prélever 2 jours consécutifs du jus de rumen, en vue du dosage de l'ammoniac et des acides gras volatils. Les prélèvements ont eu lieu, après une période d'adaptation au régime de 2 semaines, avant le repas le matin puis toutes les heures jusqu'à 8 heures après le repas.

II. Résultats

A - Qualité des ensilages

Les ensilages ont été généralement bien conservés (cf tabl. 1) et leur digestibilité a été supérieure à 70 pour 100.

Dans l'essai 1, le taux de MS élevé a permis une conservation correcte quel que soit l'ensilage. Le Kofasil-plus a cependant réduit les fermentations propionique et surtout butyrique, et sans doute aussi la fermentation lactique, car une partie de l'acide lactique produit dans le silo témoin peut y avoir été dégradée par les ferments butyriques. Le conservateur n'a pas eu d'action protectrice sur les matières azotées, en effet

les taux d'azote ammoniacal et d'azote soluble sont les mêmes quels que soient les ensilages.

Dans l'essai 2, l'acidification s'est probablement produite moins vite dans l'ensilage avec Kofasil-plus que dans celui avec acide formique, ce qui a pu permettre un certain développement des fermentations propio-butyrique et surtout acétique. Le taux d'azote ammoniacal est un peu supérieur avec le Kofasil, car l'hexaméthylène-tétramine se décompose dans le silo en ammoniac et formol ; ce dernier a du provoquer un tannage partiel des protéines que reflète un léger abaissement du taux d'azote soluble.

Dans ce second essai, les moutons maintenus en cages à bilan ont été particulièrement sensibles aux orientations fermentaires et ont consommé 20 p.100 d'ensilage en moins lorsqu'il était au Kofasil-plus, de sorte que les quantités d'azote ingérées ne sont pas comparables entre traitements.

De surcroît l'excrétion d'azote fécal et les pertes d'azote urinaire sont restées proportionnellement plus importantes avec cet ensilage ; ainsi il y a moins d'azote retenu (1,5 g/jour) qu'avec l'ensilage à l'acide formique (près de 5 g/jour) (cf tabl. 2).

TABLEAU 2

Bilan azoté mesuré sur moutons (essai 2)
(Azote en p.100 de l'ingéré)

Types d'ensilages	Azote fécal	Azote urinaire	Azote retenu
Acide formique	45	32	23
Kofasil-plus	51	38	11

L'ingestion d'ensilage avec acide formique par les bouvillons (cf. tabl. 3) entraine dans le jus de rumen la formation d'un pic d'ammoniac plus accusé, ainsi qu'une concentration en azote ammoniacal plus élevée dans les 8 heures après le repas, qu'avec l'ensilage traité au Kofasil. C'est la conséquence d'une teneur en azote soluble plus importante dans le premier cas.

TABLEAU 3

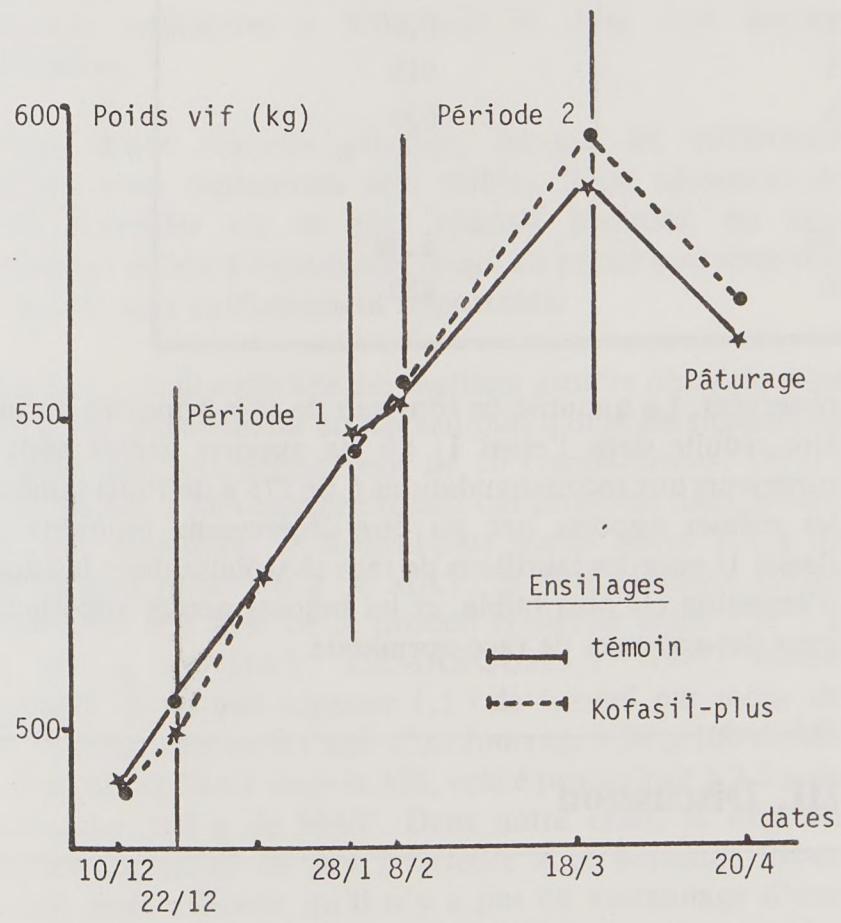
Orientation des fermentations dans le rumen (essai 2)
(moyenne des prélèvements)

	Acide formique	Kofasil
$N\text{-}NH_3$ (mg p.100 ml)	11,3	10,3
Acidité totale (m-Moles/litres)	61,4	89,4
Acide acétique (en p.100)	55,6	61,4
'' propionique ''	25,0	24,4
'' isobutyrique et butyrique ''	15,8	12,1
'' isovalérique et valérique ''	3,7	2,5

Quant aux AGV du jus de rumen, ils ont peu varié avec le traitement ; cependant, dans le cas d'ensilage avec Kofasil, on constate un peu plus d'acide acétique dans le jus de rumen, correspondant à la teneur moindre de cet ensilage en acide lactique qui est considéré comme un précurseur des acides propionique et butyrique.

B - Quantités ingérées par les bovins et croissances correspondantes

Les quantités de Matière Sèche (MS) volontairement ingérées par les jeunes bovins, génisses et taurillons (cf. tabl. 4)



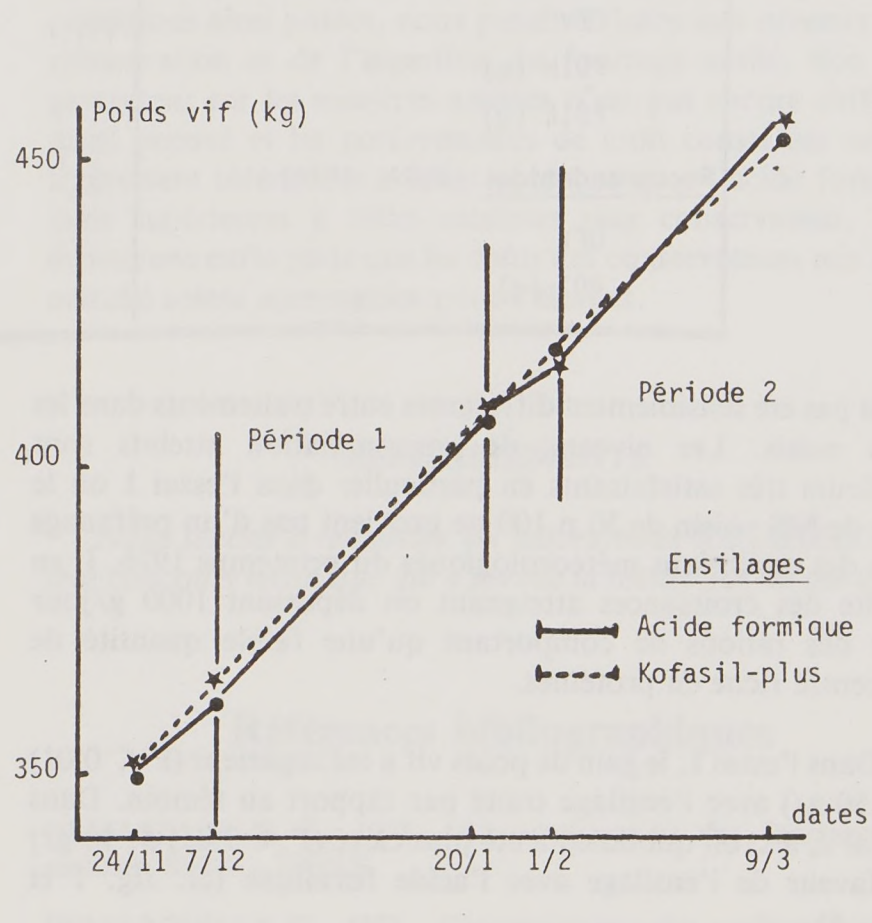


FIG. 1 : *Evolution du poids vif des animaux au cours des essais*

TABLEAU 4

Quantités ingérées par les bovins et croissances observées
(moyennes des deux périodes)

	Essai 1		Essai 2	
Nombre, types et âge des animaux	14 génisses NO et CH de 2 ans par lot		26 taurillons NO et CH d'1 an par lot	
Quantités ingérées (kg MS par animal par jour)	Témoin	Kofasil-plus	Acide formique	Kofasil-plus
ensilage	9,10	9,27	6,22	6,29
tourteau de soja	0,56	0,56	0,50	0,50
total pour 100 kg de poids vif	1,76	1,79	1,65	1,65
Poids vif moyen des animaux en cours d'expérience - kg	548		411	
Gain de poids vif (g/j)				
période 1	1140 ± 272	1311 ± 277	1055 ± 213	1000 ± 196
période 2	940 ± 222	1086 ± 248	1157 ± 263	1031 ± 291
moyenne	1040 ± 264^{A}	1199 ± 282^{B}	1106 ± 242^{a}	1015 ± 246^{b}

TABLEAU 5

Valeurs nutritives des ensilages et apports par les rations

	Essai 1	Essai 2
Valeur nutritive des ensilages (par kg de MS)		
UFV	0,79	0,86
PDIN (g)	55	68
PDIE (g)	70	78
Apports totaux par les rations		
UFV	7,95	6,00
PDIN (g)	715	615
PDIE (g)	795	630
Recommandations (INRA, 1978)		
UFV	8,40	6,30
PDI (g)	540	620

n'ont pas été sensiblement différentes entre traitements dans les deux essais. Les niveaux de consommation atteints sont d'ailleurs très satisfaisants en particulier dans l'essai 1 où le taux de MS voisin de 30 p.100 ne provient pas d'un préfanage mais des conditions météorologiques du printemps 1976. Il en résulte des croissances atteignant ou dépassant 1000 g/jour avec des rations ne comportant qu'une faible quantité de concentré riche en protéines.

Dans l'essai 1, le gain de poids vif a été supérieur ($P < 0,01$) de 150 g/j avec l'ensilage traité par rapport au témoin. Dans l'essai 2, le croît quotidien a été plus élevé ($P < 0,05$) de 90 g/j en faveur de l'ensilage avec l'acide formique (cf. fig. 1 et tabl. 4).

Les apports d'énergie (UFV) correspondent sensiblement aux recommandations (INRA, 1978) pour les performances observées. La quantité de tourteau de soja apportée aurait pu être réduite dans l'essai 1, où les apports azotés sont très supérieurs aux recommandations (de 175 g de PDI) tandis que les mêmes apports ont pu être légèrement limitants dans l'essai II pour les taurillons de race charolaise dont la capacité d'ingestion est plus faible, et les besoins azotés supérieurs, à ceux des animaux de race normande.

III. Discussion

Comme d'autres auteurs (GROSS, 1975 ; GROSS et BECK, 1972 et 1973 ; HELLBERG, 1967 : SAUE, 1977) l'ont constaté avec de petits silos, le traitement du fourrage au

Kofasil-plus dans ces deux essais, conduits en vraie grandeur (silos de 120 Tonnes chacun), a limité fortement les fermentations indésirables (essai 1), un peu moins cependant qu'avec l'acide formique (essai 2). Dans ce second essai, la quantité d'acide utilisée a été inférieure (2,2 litres par Tonne) à celle préconisée habituellement (3,5 litres) mais il s'agissait de ray-grass anglais dont la teneur en glucides solubles est élevée et qui s'ensile bien. Néanmoins, les niveaux d'ingestion de matière sèche par les taurillons n'ont pas été affectés par la nature du conservateur même si le taux d'acide acétique était plus élevé dans l'ensilage avec Kofasil-plus.

Le supplément de gain de poids vif constaté dans l'essai 1 avec l'ensilage au Kofasil ne s'explique ni par une digestibilité plus élevée, ni par des variations importantes d'ingestion entrainant des poids de contenu digestif très différents entre lots. L'étude des pesées successives (cf. fig. 1) fait plutôt conclure que le poids vif moyen du lot recevant l'ensilage sans conservateur est plus élevé en début de période 1 qu'on ne l'aurait attendu et qu'ainsi les différences de croît entre lots pendant cette période (15 p.100) sont surestimées. En début de période 2, la moins bonne adaptation à l'ensilage témoin a entrainé un handicap de poids, mais le croît a été régulièrement plus faible pendant toute la période, et le supplément de poids acquis par le lot avec Kofasil-plus s'est maintenu après la mise au pâturage. LINGVALL (1974) rapporte des écarts de croît du même ordre dans une expérience où il a comparé un même fourrage ensilé avec Kofasil-plus et sans conservateur, et dans laquelle il a utilisé deux lots de 6 vraies jumelles : il a constaté 18 p.100 de gain de poids vif en plus en faveur du traitement Kofasil. Il ne semble pas possible actuellement d'apporter une explication satisfaisante à ces observations. Dans l'essai 2, les gains de poids vif supplémentaires observés en faveur du traitement à l'acide formique (+ 9 p.100) paraissent systématiquement liés à une moins bonne adaptation à cet ensilage lors des périodes de transition ; si celles-ci sont inclues dans les calculs de croissance, les différences entre traitements deviennent inférieures à 30 g/jour et donc sans aucune signification.

Ainsi d'une manière générale, lorsque les différences attendues entre traitements sont faibles, il est nécessaire de prévoir travailler sur de plus longues périodes, ou sans inversion en milieu d'expérience, ce qui est possible chaque fois que les lots sont suffisamment importants.

La baisse de digestibilité des matières azotées observée dans l'essai 2 par le traitement au Kofasil-plus a déjà été signalée en particulier par SAUE (moyenne de 10 comparaisons, 1977) ; elle fait penser à un tannage excessif des protéines dans le silo. A la dose employée, le Kofasil-plus aurait libéré 1,9 g de formaldéhyde pour 100 g de MAT. Si WILKINSON (1976) recommande une dose de ce produit comprise entre 3 et 5 g pour 100 g de MAT, DEMARQUILLY (1977) estime souhaitable de ne pas dépasser 1,5 l de formol par tonne de vert ; en supposant qu'il s'agit d'un fourrage à 20 p.100 de MS et à 12 p.100 de MAT dans la MS, cela équivaudrait à 2,2 g de formol pour 100 g de MAT. Dans notre essai, la dose de formaldéhyde serait un peu inférieure à ce plafond. Est-ce suffisant pour affirmer qu'il n'y a pas eu surtannage d'une fraction des protéines ? La baisse du CUD des matières azotées ne permet pas d'exclure cette possibilité.

Cependant, dans l'essai 2, à ce tannage d'une partie des protéines du fourrage correspond une baisse sensible du CUD de la matière organique (1,6 pour 100) ; cette baisse jointe à un taux de matières minérales un peu élevée (due à l'apport du Kofasil-plus) se traduit par une valeur énergétique nette plus faible de 5 p.100 (0,825 contre 0,87 UFV) pour l'ensilage traité à l'acide formique ; rapportée au niveau d'ingestion, cette différence représente 0,28 UFV par jour en moins et pourrait expliquer un croît quotidien plus faible d'environ 100 g.

En fait, dans plusieurs essais où la formaldéhyde a été utilisée comme conservateur en association avec l'acide formique (VALENTINE et BROWN, 1973) ou l'acide sulfurique (DEMARQUILLY, 1977) on retrouve une diminution sensible de digestibilité de la matière organique, ainsi que des croîts plus faibles des jeunes bovins (DEMARQUILLY) qu'avec l'acide formique seul. Ce n'est pas cependant toujours le cas, ni pour la production laitière (VERITE *et al.*, 1977 ; MULLER, 1978, non publié) ni pour la croissance (un essai ICI avec le Sylade en Grande-Bretagne).

IV. Conclusion

L'emploi d'un conservateur d'ensilage apparaît de plus en plus non comme un moyen d'atteindre les performances animales les plus élevées, mais comme une assurance lorsque toutes les conditions favorables à la réussite de la conservation (taux de Matière Sèche, finesse de coupe, richesse en glucides solubles) ne sont pas réunies. Il est alors nécessaire que l'éleveur dispose sans délai d'un conservateur facile à utiliser, non corrosif, d'efficacité vraiment satisfaisante et de faible coût. Le Kofasil-plus, qui répond aux deux premières conditions ainsi posées, nous paraît efficace aux niveaux de la conservation et de l'ingestion du fourrage ensilé. Son effet protecteur sur les matières azotées n'est pas encore suffisamment prouvé et les performances de croît constatées ont été légèrement inférieures à celles obtenues avec l'acide formique mais supérieures à celles atteintes sans conservateur. Nous insisterons enfin pour que les coûts des conservateurs mis sur le marché soient acceptables pour l'éleveur.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les laboratoires ROUSSELOT de leur concours technique qui a permis la réalisation de ces essais.

Références bibliographiques

DEMARQUILLY C., 1971 - La conservation des fourrages par ensilage. INRA - THEIX.

DEMARQUILLY C., 1973 - Caractéristiques des ensilages, modifications par rapport au fourrage vert initial. *Ann. Zootechn.* **22** (1), 1-35.

GROSS F., 1975 - Das Wirtschaftseigene - *Futter,* **21**, (3), 161.

GROSS et BECK, 1973 - *Futter,* **19** (4), 282-289.

HELLBERG, 1967 - *J. Brit. Grassl. Soc.,* **22**, 289-297.

SAUE, 1975 - Départ. of AN. nutrition - Norway.

VALENTINE et BROWN, 1973 - *Australian Journal of Agricultural Research,* **24**, (6) 939-946.

VERITE et JOURNET, 1977 - *Ann. Zootechn.* **26** (2) 183-205.

WILKINSON, 1976 - *Outlook on Agriculture,* **9**, (1), 3-8.

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) 63-66

Dosage des acides gras volatils et des alcools dans les ensilages par chromatographie en phase gazeuse

J.P. JOUANY

Laboratoire de la Digestion des Ruminants

Pour déterminer les caractéristiques fermentaires des ensilages en liaison avec leur qualité de conservation, il est nécessaire de connaître leur composition et leur teneur en acides gras volatils et en alcools. Nous présentons ici le protocole de la méthode mise au point au CRZV qui est déjà utilisée dans un certain nombre de laboratoires d'analyses. Le détail de la mise au point de la méthode est en cours de publication.

I. Obtention des échantillons de jus d'ensilage

Méthode préconisée par l'INRA (laboratoire des Aliments du C.R.Z.V. et laboratoire d'Analyses Végétales de Bordeaux-Pont-de-la-Maye)

I. 1 - Prélèvement d'un échantillon moyen d'ensilage

Le prélèvement d'ensilage doit être fait obligatoirement sur un front de coupe rafraîchi, en une dizaine d'endroits afin d'être le plus représentatif du silo (il est toutefois conseillé de ne pas prélever à la périphérie du tas). Entre 1 et 5 kg d'ensilage ainsi prélevés sont ensuite fortement compactés dans un sac étanche de manière à chasser le maximum d'air, avant d'être hermétiquement clos. Il est alors rapidement congelé si l'analyse n'est pas immédiatement effectuée. Placé en boite isotherme, et si possible en présence de carboglace (1), l'échantillon peut être expédié par la poste pour analyse, à condition que le temps de transport n'excède pas 48 heures.

I. 2 - Extraction du jus d'ensilage

La décongélation de l'échantillon d'ensilage s'effectue sans ouvrir le sac, à température ambiante (entre 15 et 20°C) pendant une nuit. Le jus est extrait directement par pressage de l'échantillon d'ensilage. Lorsque cette technique n'est pas applicable, on obtient un extrait aqueux après macération de l'échantillon en présence d'eau. Dans ce cas les résultats sont moins précis car les produits à doser sont fortement dilués. Pour cette raison, les jus doivent être extraits le plus souvent possible par pressage.

(1) CARBOXYQUE FRANÇAISE, 91, rue du Faubourg St Honoré - 75008 Paris

I.2.1. Le pressage

On extrait le jus à l'aide d'un petit pressoir, type pressoir à vin ou à fruits. On presse 3 à 4 kg d'ensilage afin d'obtenir un échantillon moyen de jus bien représentatif. Une quantité minimale de 500 g doit être traitée. Il faut s'assurer que la pression appliquée est modérée et éviter tout surpressage. Entre deux extractions de jus d'ensilage provenant d'échantillons différents, quelques précautions doivent être prises : bien brosser le pressoir afin qu'il ne reste pas de particules ; ne pas récupérer la première partie du jus d'écoulement, afin que celui-ci serve à rincer l'appareil et à éviter toute contamination avec l'échantillon précédent.

I.2.2. La macération

Certains ensilages ne peuvent pas être pressés (cas des ensilages de maïs dont la teneur en matière sèche, > 35 p.100, est trop élevée ou cas des ensilages de pulpes surpressées de betteraves). Ces ensilages doivent alors être mis à macérer : on pèse environ exactement 200 g d'ensilage dans un bécher de 1 litre dans lequel on ajoute un volume d'eau connu, correspondant approximativement au volume représenté par l'échantillon d'ensilage. On agite de façon à mélanger intimement la phase solide à la phase liquide ; le contact est maintenu pendant une nuit à + 4°C. Les mélanges provenant d'ensilage de maïs sont ensuite filtrés alors que les ensilages de pulpes de betteraves sont pressés dans de la gaze.

I. 3 - Préparation des échantillons avant l'analyse chromatographique

Les jus obtenus par pressage ou par macération sont

immédiatement stabilisés par une solution aqueuse contenant le mélange H_3PO_4* ortho (5 p.100 v/v) et Hg Cl_2* (1 p.100 P/V) dite ''conservateur'', à raison de 10 ml de jus et 1 ml de conservateur. Ils doivent être ensuite analysés extemporairement ou congelés et conservés à -15°C. Au moment de l'analyse, les échantillons frais ou décongelés sont centrifugés à environ 2000 g pendant 5 minutes à + 4°C.

II. Analyse chromatographique

II. 1 - Matériel

Il est nécessaire d'utiliser un chromatographe en phase gazeuse muni d'un détecteur à ionisation de flamme. Le chromatogramme est inscrit sur un enregistreur dont la sensibilité est de 1 mv en pleine échelle. Afin d'obtenir des résultats précis il est recommandé de mesurer la surface des pics à l'aide d'un intégrateur électronique. Dans le cas où l'on souhaiterait automatiser l'ensemble de la chaine analytique (cf ⁑ 2-6), nous pouvons utiliser un injecteur automatique, à condition de pouvoir protéger les échantillons stockés sur la couronne distribuée contre la perte de substances volatiles.

II. 2 - Colonne

La colonne, en verre, a une longueur de 1,50 m et un diamètre intérieur de 2,17 mm. La tête de colonne, à l'intérieur de laquelle les liquides à analyser sont injectés, est amovible. Un rodage sphérique 13/5 (Sovirel) maintenu en place par une pince à vis modèle ''ROTULEX'' (Sovirel), permet d'éviter les fuites de gaz au niveau de la jonction (fig. 1). Ainsi la tête de colonne sera changée toutes les 50 injections ce qui permet d'éliminer les dépôts non volatils contenus dans les échantillons et éviter les phénomènes importants d'adsorption à ce niveau.

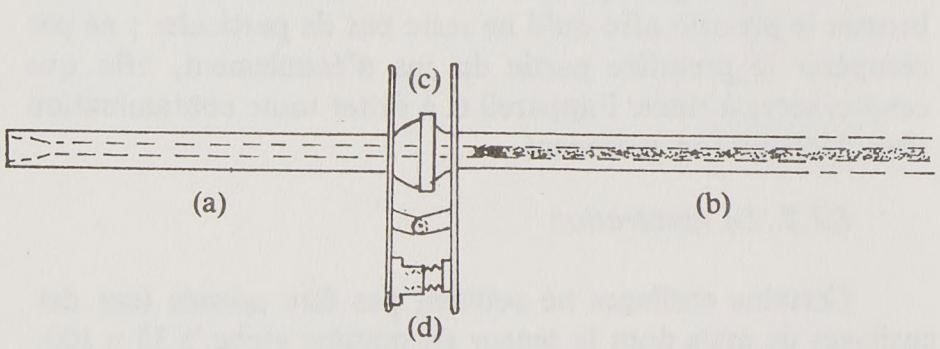


FIG. 1 : *partie amovible de la colonne chromatographique*
a) tête de colonne vide à changer toutes les 50 injections.
b) colonne chromatographique garnie
c) rodage sphérique
d) pince à vis

Le garnissage de la colonne est constitué de chromosorb W-AW-60-80 mesh, imprégné de 10 p.100 (P-P) de SP 1200 (Supelco) (2) et de 1 p.100 (P/P) de H_3PO_4* ortho. Les cotons de verre placés aux extrémités de la colonne sont traités par H_3PO_4* dispersé dans de l'acétone* (1 p.100 V/V). Les colonnes sont conditionnées à 160°C pendant une nuit sous un flux d'azote de 30 ml/mn. Ces colonnes placées dans les conditions définies ci-après doivent posséder environ 3000 plateaux théoriques pour le pic d'acide butyrique.

II. 3 - Analyse des acides gras volatils (AGV)

II.3.1. Conditions opératoires

débit des gaz : N_2 (gaz vecteur) : 30 ml par mn
H_2 (détecteur) : 40 ml par mn
air (détecteur) : 400 ml par mn

température : four : 125°C
détecteur : 155°C
injecteur : 165°C

volume injecté : 0,5 μl.

II.3.2. Préparation de l'échantillon à injecter.

A 1 ml de l'échantillon contenant le conservateur (cf. ⁑ 1.3) on ajoute 0,1 ml d'étalon interne constitué d'une solution à 1 p.100 (P/V) d'acide 4-méthyl valérique** ultrasonnée sans élévation de température à 20 kcycles sec pendant 5 minutes. Le tout est soigneusement mélangé et injecté directement dans la partie amovible de la tête de colonne.

II.3.3. Durée de l'analyse

Environ 8 minutes (fig. 2).

II. 4 - Analyse des alcools

II.4.1. Conditions opératoires.

Température du four = 80°C. Les autres conditions sont identiques à celles décrites pour l'analyse des AGV.

II.4.2. Préparation de l'échantillon et injection.

1 ml de l'échantillon contenant le conservateur est mélangé à 0,1 ml d'étalon interne constitué d'une solution à 2 p.100 (V/V) d'isobutanol*. L'ensemble est agité et injecté à raison de 0,5 μ l dans la tête de colonne amovible.

II.4.3. Durée de l'analyse

Elle dépend de la présence d'AGV et d'acide lactique dans les échantillons. Lorsqu'il y a des quantités non négligeables d'acide butyrique et surtout d'acide lactique, le temps d'analyse peut aller jusqu'à 15 mn. Dans ce cas il est recommandé d'effectuer une chromatographie d'alcools entre deux pics de composés non alcooliques de l'injection précédente ce qui permet alors de réaliser deux analyses dans le même temps. La durée minimale d'une analyse d'alcools est de deux minutes dans le cas où il n'y a pas d'autres AGV que l'acide acétique (fig. 3).

* qualité ''pour analyse''
(2) PACKARD 4. 10, rue Grosse Pierre 94533 Rungis (France)

** qualité pour ''chromatographie''

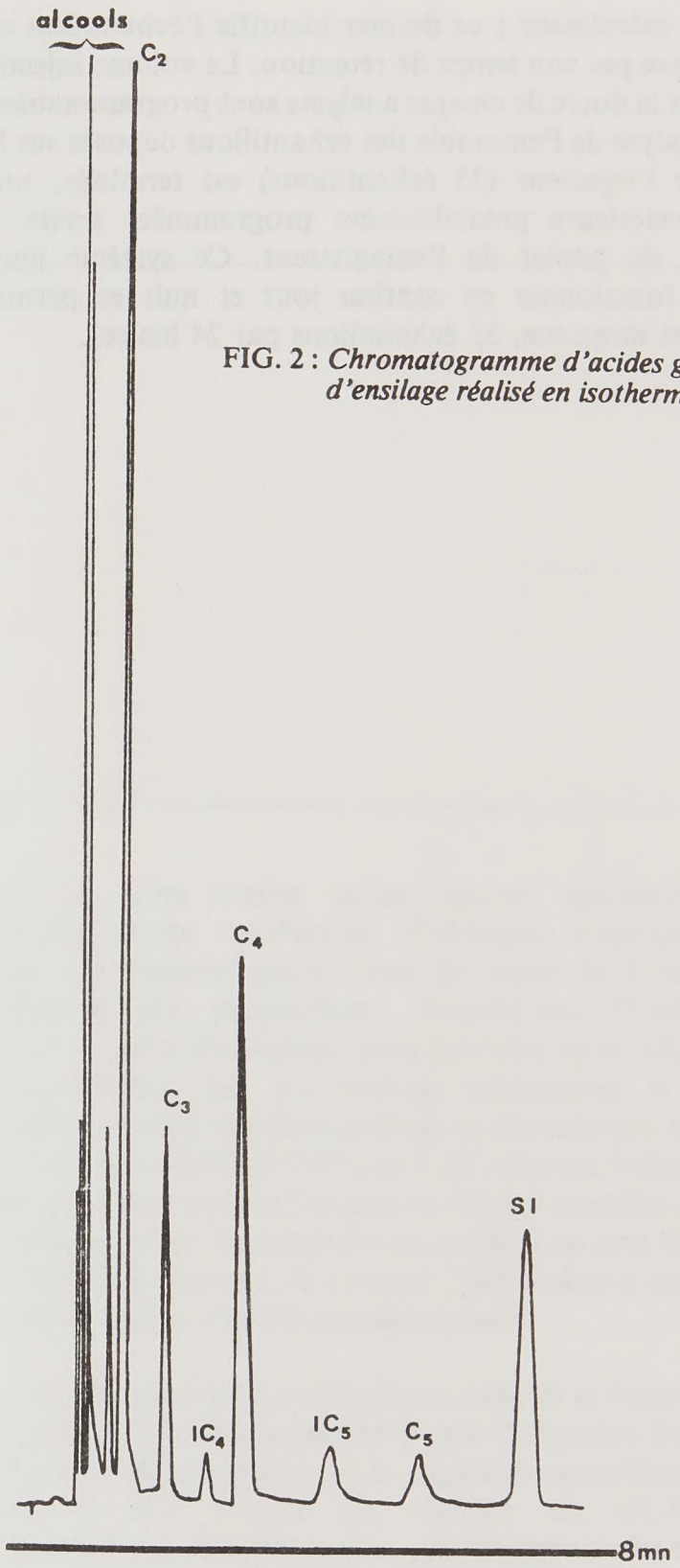


FIG. 2 : *Chromatogramme d'acides gras volatils d'ensilage réalisé en isotherme à 125°C.*

II. 5 - Calculs

L'analyse quantitative des AGV et des alcools est effectuée par la méthode du standard interne.

II.5.1. Détermination des facteurs de réponse.

L'analyse des solutions étalons A ou B effectuées dans les conditions définies par les paragraphes 2-3 et 2-4 permet de calculer les facteurs de réponse de chaque composé selon la formule suivante :

$$Ka = \frac{sa}{s} \times \frac{1}{ca}$$

Ka = facteur de réponse du composé ''a''.
sa = surface du pic correspondant au composé ''a''.
s = surface du pic correspondant à l'étalon interne.
ca = concentration du composé ''a'' dans la solution étalon

II.5.2. Calcul des concentrations d'AGV et d'alcools dans les échantillons à analyser

Après avoir injecté les échantillons à analyser, on calcule la concentration de chaque composé dans le jus d'ensilage à partir du chromatogramme correspondant selon la formule :

$$Ca = \frac{Sa}{S} \times \frac{1}{Ka}$$

avec Ca = concentration du composé ''a'' dans le jus d'ensilage
Sa = surface du pic correspondant au composé ''a'' lors de l'injection du jus d'ensilage.
S : surface du pic correspondant à l'étalon interne lors de l'injection du jus d'ensilage.
Ka : facteur de réponse du composé ''a''.

Composition de la solution étalon A

acide acétique (C_2)	6,00 g
propionique (C_3)	1,00 g
isobutyrique (IC_4)	0,125 g
butyrique (C_4)	1,75 g
isovalérianique (IC_5)	0,25 g
valérianique (C_5)	0,25 g

et de la solution B

méthanol (Me)	0,25 g
éthanol (Et)	1,00 g
propanol (pr)	1,00 g
butanol (bu)	0,25 g

Recommandation : *Pour éviter les pertes de substances volatiles, il est recommandé de peser rapidement, puis de verser l'alcool considéré dans la fiole jaugée en rinçant avec de l'eau distillée froide* (+ 4°C).

Compléter chacune de ces solutions à 1 litre avec de l'eau distillée ; y ajouter ensuite 100 ml de conservateur (H_3PO_4 ortho 5 % V/V + $Hg\,Cl_2$ 1 % P/V)

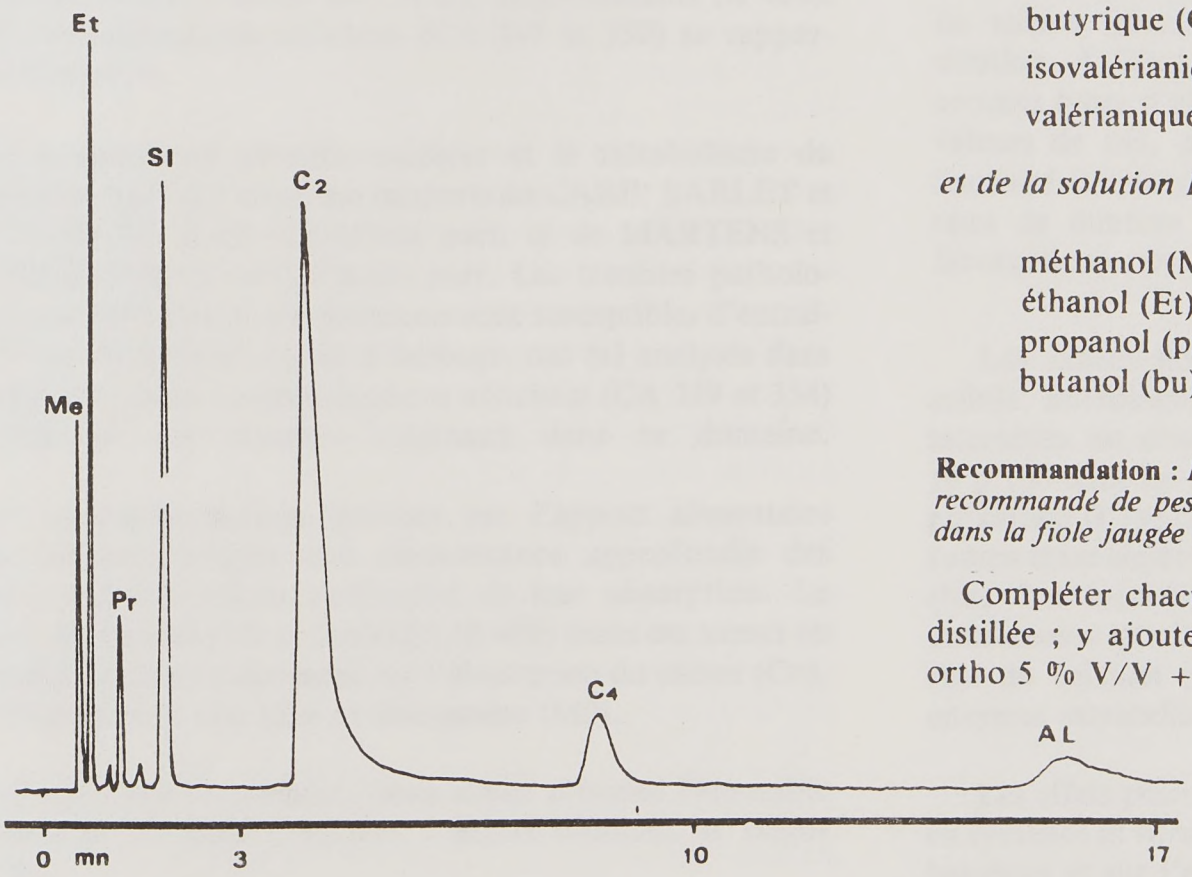


FIG. 3 : *Chromatogramme d'alcool d'ensilage en présence d'acides (C2) butyrique (C4) et lautique (AL)*

II. 6 - Automatisation de la chaine d'analyse

L'association d'un injecteur automatique au chromatographe permet de réaliser une chaine analytique automatique autonome puisque nous n'utilisons pas la programmation de température.

La mise en route de l'injecteur commande l'enregistreur et l'intégrateur calculateur ; ce dernier identifie l'échantillon en cours d'analyse par son temps de rétention. Le volume injecté, la séquence et la durée de chaque analyste sont programmables. Lorsque l'analyse de l'ensemble des échantillons déposés sur la couronne de l'injecteur (35 échantillons) est terminée, une commande extérieure préalablement programmée, arrête le déroulement du papier de l'enregistreur. Ce système ainsi conçu peut fonctionner en continu jour et nuit et permet d'analyser, en moyenne, 55 échantillons par 24 heures.

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) 67-72

SECTION V

Métabolisme minéral

Michelle DURAND

Station de Recherches de Nutrition
C.N.R.Z. - 78350 - Jouy-en-Josas

Il est bien connu qu'un apport qualitativement et quantitativement satisfaisant d'éléments minéraux dans la ration est essentiel pour l'état de santé de l'animal et le rendement des productions. Cependant, l'utilisation de nouveaux types d'aliments (sous-produits agro-industriels), et l'intensification des productions fourragères et animales, peuvent entraîner des déséquilibres et des carences en éléments minéraux qui affectent l'efficacité de l'élevage induisant même parfois des troubles pathologiques. Pour y remédier, des études approfondies sur le métabolisme minéral se sont développées ces dernières années ; la session ''métabolisme minéral'' du symposium en a analysé certains aspects.

Les relations entre métabolisme minéral et fonctionnement du rumen ont retenu particulièrement l'attention des auteurs : l'influence des minéraux sur la digestion microbienne dans le rumen a fait l'objet du rapport de DURAND et KAWASHIMA (R 375), tandis que l'influence des microorganismes du rumen sur le métabolisme minéral a été évoquée à propos du magnésium (R 447) et des oligo-éléments (R 409). Deux communications affichées (CA 347 et 350) se rapportaient à ce sujet.

Le métabolisme phospho-calcique et le métabolisme du magnésium ont fait l'objet des rapports de CARE, BARLET et ABDEL-HAFEEZ (R 429) d'une part, et de MARTENS et RAYSSIGUIER (R 447) d'autre part. Les troubles pathologiques que leurs dysfonctionnements sont susceptibles d'entraîner, fièvre vitulaire et tétanie d'herbage, ont été analysés dans ces rapports. Deux communications affichées (CA 359 et 354) ont apporté des résultats originaux dans ce domaine.

Les recommandations précises sur l'apport alimentaire d'oligoéléments exigent une connaissance approfondie des facteurs qui influencent l'efficacité de leur absorption. Le rapport de BREMMER et DAVIES (R 409) traite cet aspect en insistant plus particulièrement sur l'absorption du cuivre (Cu), molybdène (Mo), zinc (Zn) et manganèse (Mn).

Pour la clarté du résumé, nous avons présenté l'ensemble des données en deux chapitres : macro-éléments et oligo-éléments.

Macro-éléments

I. Influence sur la digestion microbienne au niveau du rumen

DURAND et KAWASHIMA (R 375) tentent d'estimer qualitativement et quantitativement les éléments nécessaires au bon fonctionnement du rumen, c'est-à-dire qui permettent un rendement élevé de la protéosynthèse microbienne et de l'activité cellulolytique.

Les auteurs rappellent d'abord le rôle des macro-éléments dans l'environnement microbien. Présents essentiellement sous forme de phosphate et de bicarbonate dans le milieu de rumen, ils permettent de maintenir, dans une zone favorable à la croissance microbienne, les caractéristiques physicochimiques du milieu (pression osmotique, pouvoir tampon, taux de dilution...). C'est ainsi que l'addition de tampons minéraux à certains types d'aliments permet d'éviter une chute rapide des valeurs de pH, phénomène qui réduit la protéosynthèse et l'activité cellulolytique ; cette addition peut aussi accroître le taux de dilution de la phase liquide du contenu, facteur favorable au rendement de la protéosynthèse.

Les macro-éléments entrent dans la composition de la cellule microbienne ; ainsi 80 p.100 du phosphore (P) microbien est contenu dans les acides nucléiques et environ 10 p.100 dans les phospholipides ; du magnésium (Mg) et du potassium (K) se trouvent dans les ribosomes ; les bactéries du rumen étant légèrement halophiles contiennent aussi du sodium (Na). Les macro-élements sont, de plus, essentiels pour de nombreuses activités enzymatiques intra ou extracellulaires. Le rôle du calcium (Ca) se situe essentiellement au niveau des enzymes extracellulaires (cellulases, amylases, etc...).

Les effets positifs d'addition de P, Mg, K et Na ont été mis en évidence *in vitro* à la fois sur la croissance de culture pure de bactéries et sur l'activité cellulolytique de milieux complexes.

L'effet de Ca apparaît moins nettement. D'après les résultats de ces expériences les auteurs ont évalué les concentrations minimales du milieu en ces éléments qui permettraient un bon développement des fermentations.

La concentration nécessaire de P soluble dans le milieu de rumen serait de l'ordre de 20 à 90 mg/l. En mesurant l'incorporation de P radioactif dans les bactéries, il est apparu que les besoins totaux en P de la microflore sont élevés et de l'ordre de 4 à 5 g P/kg de matière organique digestible ingérée par l'animal. Les concentrations en P de la salive sont importantes (de l'ordre de 0,4 à 0,7 g/l), aussi, ces besoins sont généralement couverts par le seul apport salivaire. Cependant, dans le cas d'un régime pauvre en P et riche en Ca, la teneur en P salivaire peut s'abaisser (R 429) et les besoins des microorganismes peuvent ne pas être satisfaits.

Les teneurs minimales en Mg et Ca solubles dans le milieu de rumen devraient se situer respectivement aux environs de 2-25 et 10-40 mg/l. L'apport salivaire étant faible, la couverture des besoins des microorganismes dépendra des apports alimentaires et de leur disponibilité dans le milieu de rumen ; or, leur solubilité est relativement basse et dépendante du pH. Lorsque les régimes sont sub-carencés, en Mg notamment (taux inférieurs à 0,8 g/kg MS), et lorsque le pH du rumen est élevé (concentrations ammoniacales élevées), les besoins des microorganismes risquent de ne pas être couverts.

Les concentrations de Na et de K requises pour un bon déroulement des fermentations sont élevées (0,5-2 g/l). L'apport salivaire de Na est généralement important et suffisant mais celui de K est plus limité. Cependant, le potassium alimentaire est très soluble au niveau du rumen et une carence ne pourra se manifester que pour des taux réduits de K dans l'aliment (inférieurs à 4 g/kg MS).

II. Métabolisme phospho-calcique

Dans leur rapport (R 429) CARE *et al.*, rappellent les grandes lignes de la régulation de l'homéostasie du calcium et du phosphore en présentant plus particulièrement les données récentes sur le rôle des hormones dans les mécanismes d'adaptation de l'absorption et de l'excrétion endogène. Les auteurs traitent ensuite de l'aspect pathologique de ce métabolisme : l'hypocalcémie vitulaire.

Homéostasie du calcium et du phosphore

Au niveau de l'os, du tube digestif et du rein, l'activité de l'une ou de plusieurs des trois hormones, parathormone (PTH), 1,25 dihydroxycholécalciférol (1,25 $(OH)_2$ D_3), calcitonine (CT) module le flux net des ions calcium ou phosphates dans le liquide extracellulaire.

Les actions de la PTH et de 1,25 $(OH)_2$ D_3 ont pour effet d'élever la concentration de Ca et dans une moindre mesure de P, dans le plasma. La sécrétion de PTH par les parathyroïdes est essentiellement stimulée par une baisse de la calcémie et aussi, dans une moindre mesure, par une baisse modérée de la magnésémie. Par contre, lorsque cette dernière est très faible, la sécrétion ou l'effet biologique de la PTH pourraient être inhibées. En effet, le mécanisme enzymatique impliqué dans sa sécrétion et dans son action au niveau cellulaire (adénylcyclase) ne fonctionne qu'en présence de Mg. Ceci expliquerait en partie l'hypocalcémie consécutive à l'hypomagnésémie de la tétanie d'herbage, aspect qui est aussi discuté dans le rapport de MARTENS et RAYSSIGUIER (R 447).

La transformation de la vitamine D en sa forme la plus active nécessite deux hydroxylations : la première a lieu dans le foie (formation de 25 OH D_3), la seconde dans le cortex rénal (formation de 1,25 $(OH)_2$ D_3). L'activité de la deuxième hydroxylase est stimulée à la fois par la PTH et par la diminution de la concentration en ions calcium et phosphates dans les mitochondries des cellules du cortex ; elle est réduite par la forme active : 1,25 $(OH)_2$ D_3. Des travaux récents indiquent que deux autres dérivés (24, 25 ou 25,26 $(OH)_2$ D_3) formés lorsque la concentration sanguine en 25 (OH) D_3 est élevée peuvent aussi être actifs pour réguler l'homéostasie du Ca notamment en inhibant la sécrétion de PTH.

Contrairement à la PTH et au 1,25 $(OH)_2$ D_3, l'effet majeur de la calcitonine est de diminuer la calcémie et la phosphatémie en agissant au niveau de l'os. La sécrétion de la CT est stimulée par élévation du Ca plasmatique au-dessus d'un certain seuil. Une sécrétion postprandiale de cette hormone consécutive à la production d'hormones intestinales est aussi suggérée.

L'os représente l'essentiel des réserves de Ca et P disponibles dans le corps. Sa résorption est accrue par la PTH et la 1,25 $(OH)_2$ D_3 et diminuée par la calcitonine. L'effet de cette dernière sur l'homéostasie est particulièrement marqué lorsque l'os subit un turnover rapide notamment lors de la croissance ou de la lactation.

La régulation de l'homéostasie est importante au niveau de l'absorption surtout en ce qui concerne Ca. L'efficacité de l'absorption de Ca est accrue lorsque sa teneur dans le régime est faible ou lorsque les besoins de l'animal sont importants : croissance, gestation et lactation. Ainsi, les pertes supplémentaires de Ca pendant la lactation seraient compensées pour 80 p.100 par un accroissement de son absorption (VAN'T KLOOSTER, 1976).

En ce qui concerne le phosphore, il y aurait aussi adaptation de son absorption en réponse à un régime subcarencé en P. Cette hypothèse émise par YOUNG *et al.*, en 1966 a été vérifiée par les auteurs en mesurant l'absorption dans une anse de THIRY-VELLA placée au niveau de jéjunum de mouton recevant des régimes à différents taux de P. Ces auteurs considèrent que l'adaptation de l'absorption aux faibles teneurs en Ca et en P du régime met en jeu une production accrue de 1,25 $(OH)_2$ D_3. BRAITHWAITE (CA 359) met nettement en évidence que la distribution à des moutons de 1α(OH) D_3, analogue synthétique du 1,25 $(OH)_2$ D_3 accroît considérablement l'absorption réelle de Ca et de P. La PTH aurait aussi un effet positif sur l'absorption de P. Il en serait de même pour Ca ; la perfusion intraveineuse de PTH augmente l'absorption vraie de Ca après un temps de latence de 24 heures, durée sans doute nécessaire à la stimulation de la synthèse de 1,25 $(OH)_2$ D_3. La calcitonine par contre, après plusieurs jours d'administration, aurait un effet négatif sur l'absorption de Ca, sans doute en réduisant la formation de 1,25 $(OH)_2$ D_3.

Les excrétions urinaires de Ca et de P sont généralement très faibles chez les ruminants, l'excrétion endogène au niveau du tube digestif étant la voie principale d'excrétion. Toutefois,

l'excrétion urinaire de P et de Ca pourrait être accrue pour P par l'administration de PTH et pour Ca par une carence du régime en P ou par un régime acide entraînant probablement une réduction de la sécrétion de PTH.

La sécrétion salivaire de P, du fait de son importance, est impliquée dans la régulation de la phosphatémie. Les facteurs qui modifient la salivation peuvent détourner l'excrétion de P et dans une moindre mesure celle de Ca de la salive vers la voie urinaire ou vice-versa. De plus, la teneur en P de la salive est positivement corrélée avec la phosphatémie et dépend des facteurs qui la modifient : hormones ou teneurs en P du régime. Ainsi, la distribution d'un régime subcarencé en P, d'une part diminuera l'excrétion salivaire de P, mais d'autre part, élèvera l'efficacité de l'absorption de ce P comme celle du P alimentaire ; les pertes de P endogène seront donc réduites.

Hypocalcémie vitulaire

L'accroissement brutal des besoins en Ca et en P en tout début de lactation conduit généralement à une hypocalcémie et à une hypophosphatémie particulièrement importante au 5e ou 6e vêlage ; chez certaines vaches ou brebis le syndrome vitulaire peut apparaître. L'hypocalcémie semble responsable de la plupart des symptômes de la maladie qui cependant n'est pas causée par un déficit de PTH ou de 1,25 $(OH)_2$ D_3. Par contre, plusieurs expériences citées par les auteurs indiquent qu'une élévation de la concentration de la calcitonine plasmatique contribue fréquemment au développement de l'hypocalcémie à la parturition. L'élévation de la concentration de calcitonine pourrait inhiber les effets de l'accroissement de la PTH et de la 1,25 $(OH)_2$ D_3 comme l'a montré BARLET (fig. 1). Les

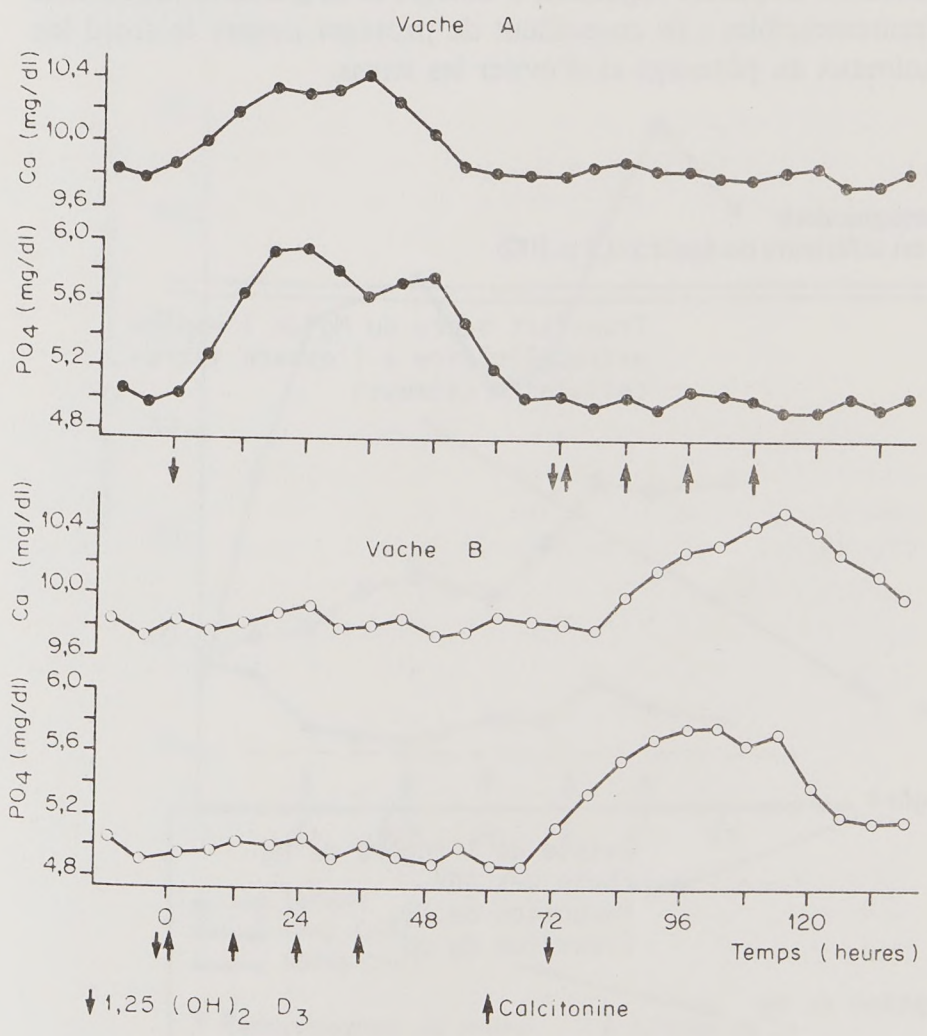


FIG. 1 : *Influence d'injection de 1,25 $(OH)_2$ D_3 seule ou avec calcitonine sur les teneurs en calcium et en phosphate du plasma chez la vache en lactation*

(d'après BARLET)

raisons de cette sécrétion de CT sont encore inconnues mais une élévation du taux de catécholamines sanguines pourrait être en cause. Les méthodes préventives visent à accroître l'absorption du Ca alimentaire et la mobilisation du Ca osseux. Deux méthodes sont examinées : injections de vitamine D ou modification de la composition du complément minéral. Le problème lié à l'utilisation de la vitamine D_3 et à celle de ses dérivés métaboliques concerne la prévision précise de la date de vêlage afin d'éviter les effets toxiques d'injections répétées de fortes doses. Certains dérivés synthétiques de la 1,25 $(OH)_2$ D_3, comme le 1α OHD_3, moins toxiques que la vitamine D_3, peuvent accroître l'absorption mais aussi la rétention de Ca et de P (BRAITHWAITE, CA 359). Les auteurs proposent en outre d'utiliser les mécanismes d'adaptation aux taux de Ca du régime : distribution d'un complément à faible taux de Ca mais normal en P pendant 4-6 semaine avant la parturition, puis distribution d'un supplément de Ca et de P au moment de la parturition et après. Au cours de la première période l'efficacité de l'absorption de Ca et de P serait accrue, ce qui favoriserait l'utilisation du supplément distribué à la parturition.

III. Métabolisme du magnésium et hypomagnesémie

MARTENS et RAYSSIGUIER (R 447) examinent, à la lumière des données récentes sur le métabolisme de Mg, les mécanismes responsables de l'hypomagnésémie aiguë ou tétanie d'herbage.

Le magnésium est au niveau cellulaire l'un des cations divalents les plus essentiels ; il participe à l'activité de très nombreuses enzymes (environ 300 connues), entre autres celles qui utilisent l'ATP ou catalysent le transfert de phosphate. L'os constitue la réserve principale de Mg, réserve qui peut en partie être mobilisée chez le jeune, alors que chez l'adulte elle est relativement inerte et ne peut pas être mobilisée rapidement.

Malgré son importance et contrairement à Ca, il ne semble pas exister dans l'organisme de système régulateur de l'homéostasie de Mg. Chez le ruminant, des désordres dus à l'hypomagnésémie se rencontrent souvent avec le développement des systèmes intensifs d'agriculture. La forme aigüe de l'hypomagnésémie peut constituer un préjudice économique important en raison de la mortalité brutale qui parfois en résulte. Elle se manifeste essentiellement chez les animaux au pâturage au printemps et parfois à l'automne. Le déclenchement de la tétanie clinique, qui se manifeste par une stimulation musculaire excessive, serait due d'après les auteurs à une carence en Mg soit au niveau du réticulum sarcoplasmique du muscle, ce qui affecterait le fonctionnement de la pompe à calcium qui exige la présence de Mg, soit au niveau du liquide céphalorachidien, ce qui entraînerait une élevation de l'activité neuronale conduisant à une stimulation musculaire accrue.

L'hypomagnésémie a principalement pour origine une malabsorption de Mg au début de la mise à l'herbe et, ou, un changement dans la distribution de Mg corporel qui passerait du compartiment extracellulaire au compartiment intracellulaire.

L'absorption de Mg chez le ruminant se localiserait essentiellement avant le duodénum. D'après les résultats obtenus récemment sur moutons et veaux, les auteurs considèrent que Mg est absorbé à la fois au niveau du rumen et

au niveau du feuillet. L'absorption aurait lieu principalement au niveau du rumen chez le mouton et peut-être au niveau du feuillet chez le veau. EDRISE et SMITH (CA 354) montrent effectivement l'importance du feuillet dans l'absorption de Mg chez le jeune taurillon. Ils expliquent les différences dans les sites d'absorption entre ovins et bovins par les différences dans la surface de la muqueuse du feuillet rapportée au poids métabolique, cette dernière étant cinq fois plus importante chez le bovin que chez l'ovin.

Le mécanisme de transport de Mg à travers la paroi du rumen de mouton a été étudié par MARTENS. Il s'agirait d'un transport actif lié au sodium impliquant l'action d'une enzyme analogue à la Na/K ATPase qui pourrait comme cette dernière être bloquée par un excès de K relatif au Na. Effectivement, les auteurs montrent sur moutons que la valeur du rapport Na/K dans le liquide du rumen affecte l'absorption de Mg. Or, dans la pratique, le rapport Na/K dans le liquide du rumen d'animaux au pâturage peut être très bas (<1) pour plusieurs raisons :

- l'herbe jeune sur sols fertilisés est riche en K et pauvre en Na ;
- la salivation peut être faible par insuffisance de parois végétales dans le régime ;
- la concentration de K dans la salive s'élève lorsque le régime est subcarencé en Na. Il est souvent possible de stabiliser le rapport Na/K dans le rumen par un apport modéré de Na, notamment lorsque le régime est carencé en cet élément.

Les produits formés lors de la digestion microbienne dans le rumen : ammoniac (NH_3), acides gras volatils (AGV) et gaz carbonique (CO_2) ont aussi une influence sur l'absorption de Mg. Une élévation rapide de NH_3 décroît l'absorption de Mg, tandis que les AGV et le CO_2 l'activent (apport d'énergie nécessaire au transport membranaire, stimulation du flux sanguin).

Dans la pratique, le rapport azote/énergie de l'herbe jeune serait trop élevé ; il conduirait à une formation importante de NH_3 du fait de l'apport élevé d'azote soluble et d'une protéosynthèse microbienne insuffisante due à une carence en glucides facilement fermentescibles : les AGV et le CO_2 formés seraient insuffisants. Une supplémentation énergétique sous forme de lactose a effectivement permis d'accroître l'absorption de Mg dans le rumen du mouton (RAYSSIGUIER et PONCET, 1980).

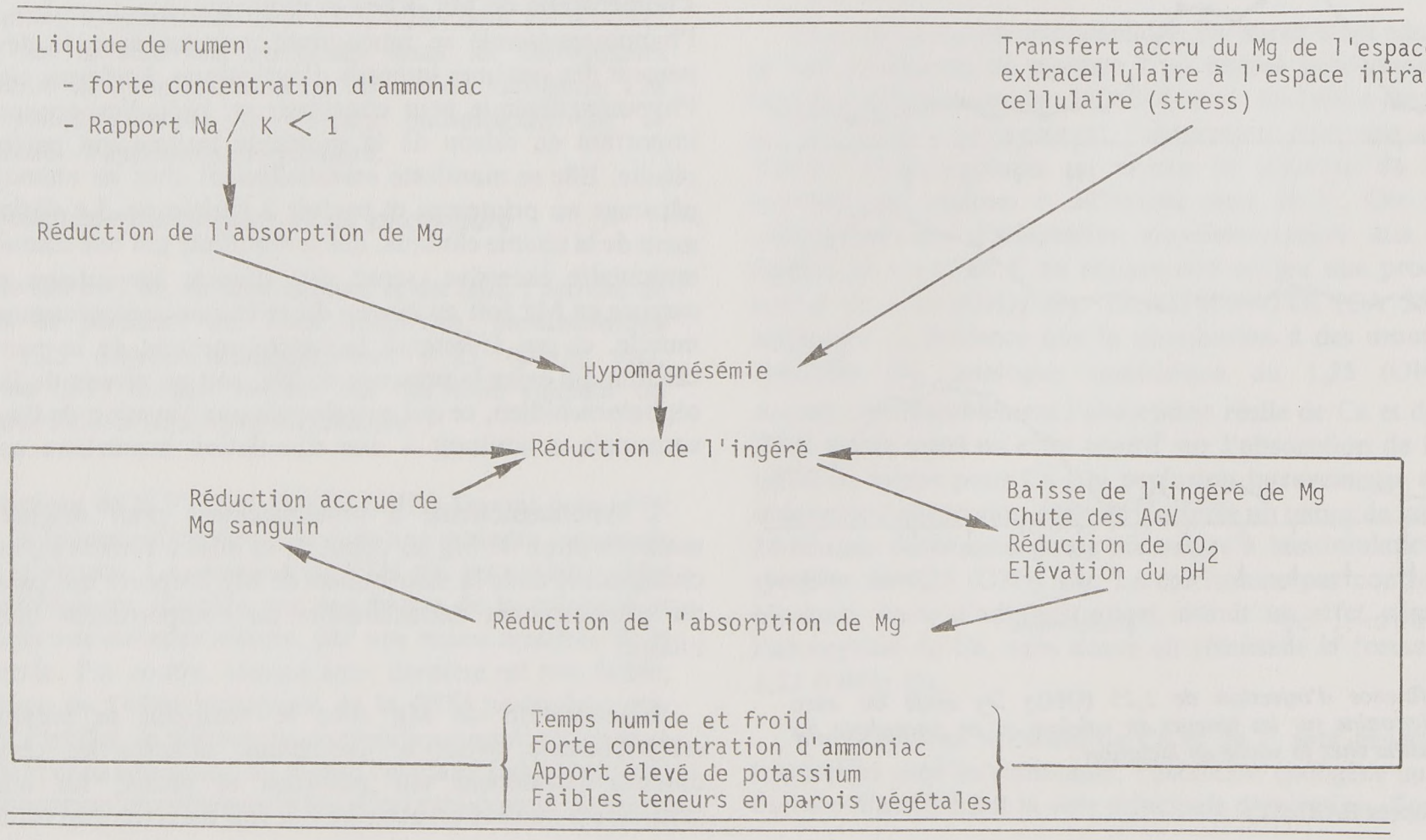
Pour expliquer le fait que l'herbe jeune conduise souvent chez le mouton ou la vache, parallèlement à l'hypomagnésémie, à un accroissement de la rétention de Mg (baisse de l'excrétion urinaire), une redistribution du Mg corporel a été suggérée. D'après les travaux du groupe de LARVOR, l'hypomagnésémie serait associée à un accroissement de la lipolyse : la perfusion intraveineuse d'adrénaline induit l'hypomagnésémie chez le mouton et la vache, parallèlement à la stimulation de la lipolyse ; de même le jeûne ou l'exposition au froid provoquent une hypomagnésémie parallèlement à une élévation des concentrations d'acides gras libres dans le sang. Deux hypothèses sont émises pour expliquer cette relation entre hypomagnésémie et lipolyse : une séquestration de Mg par les membranes de l'adipocyte au moment de la lipolyse et une chélation de Mg par les acides gras libres du sang.

Le tableau 1 résume les causes de la pathogénie de l'hypomagnésémie. Les auteurs suggèrent comme prophylaxie au niveau du rationnement un apport correct en Na, un apport suffisant de parois végétales, d'énergie et de glucides facilement fermentescibles ; ils conseillent de protéger contre le froid les animaux au pâturage et d'éviter les stress.

TABLEAU 1

Pathogénie de l'hypomagnesémie

(lorsque la teneur en magnésium du régime est inférieure ou égale à 0,2 p.100)



(D'après MARTENS et RAYSSIGUIER)

Oligo-éléments

I. Influence sur la digestion microbienne au niveau du rumen

DURAND et KAWASHIMA (R 375) précisent que de nombreuses activités enzymatiques bactériennes peuvent être régulées par des oligo-éléments tels que fer (Fe), manganèse (Mn), zinc (Zn), cobalt (Co), molybdène (Mo), sélénium (Se), nickel (Ni)... Certains oligo-éléments rentrent aussi dans la composition d'éléments cellulaires comme les ribosomes ou les membranes. Les teneurs en oligo-éléments des microorganismes du rumen sont généralement bien supérieures à celles des aliments que l'animal ingère. En effet, les parois des bactéries sont capables de fixer des oligo-éléments, liaisons qui sont plus ou moins réversibles en milieu acide. Aussi, les besoins en oligo-éléments des bactéries ne peuvent pas être déduits de leurs concentrations dans la masse microbienne.

Des études *in vitro* ont montré que l'activité cellulolytique peut être stimulée par des apports d'oligo-éléments ; de même la croissance des protozaires en cultures de longue durée peut être accrue par un apport de Zn ou de Co (fig. 2). Cependant, l'ampleur des réponses est souvent variable ; elle peut en effet être influencée par la composition minérale du milieu, notamment par la concentration en ions sulfures (S^{2-}).

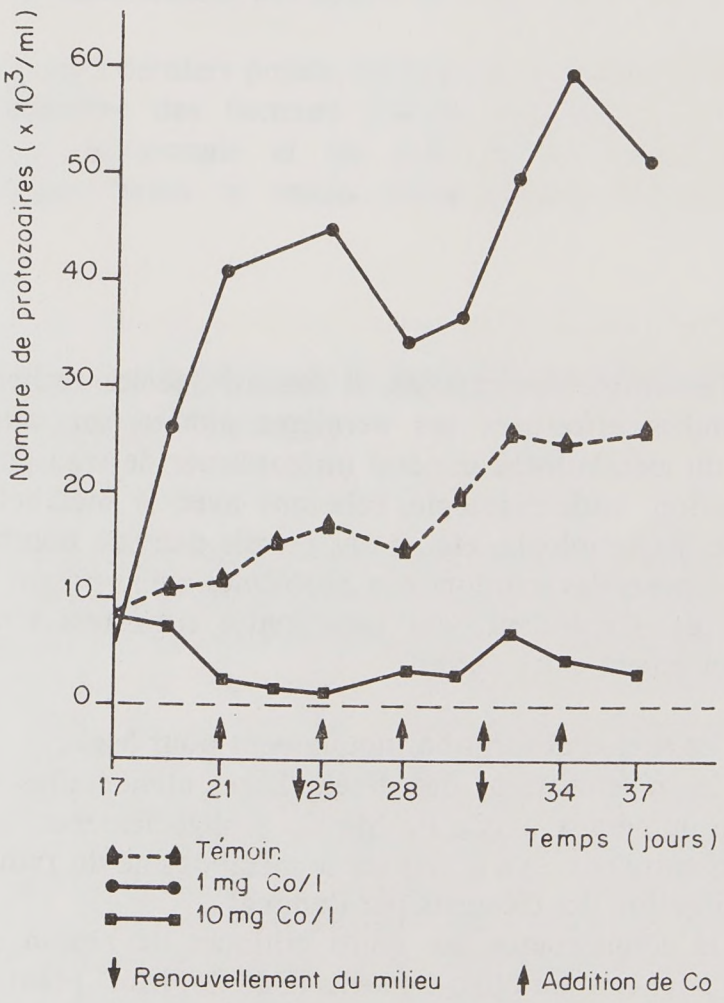


FIG. 2 : *Effet de l'addition de cobalt sur une culture de protozoaires* (enfodinium)

(d'après BONHOMME)

La réduction du sulfate en sulfure est un phénomène bien connu au niveau du rumen, mais de nombreuses espèces bactériennes sont aussi susceptibles de produire S^{2-} à partir des acides aminés soufrés notamment de la cystéine comme l'a montré FORSBERG (CA 347).

Une interaction Mo-S a été mise en évidence : l'effet stimulant de Mo sur la cellulolyse n'est plus observé après addition de sulfate et inversement l'addition de Mo accroît les besoins en soufre. Les thiomolybdates qui se forment dans le rumen à partir de S^{2-}, sont probablement inutilisables par la microflore.

D'après l'ensemble des résultats obtenus *in vitro*, les auteurs recommandent les concentrations suivantes en éléments solubles dans le milieu (mg/l) : Fe, Mn, Mo : 1-10 ; Zn : 0,2-1 ; Co : 0,1-0,5 ; Cu : 0,01-0,25. *In vivo,* les valeurs observées au niveau du rumen sont généralement plus faibles que celles recommandées du fait des complexes qui se forment entre oligo-éléments et liants anioniques produits au cours des fermentations, ou des liaisons entre oligo-éléments et parois bactériennes. Aussi, les fermentations peuvent être ralenties lorsque les régimes sont pauvres en certains oligo-éléments. Avec un régime à base de paille, la digestion de la cellulose a pu être stimulée par un apport de Co et de Cu chez le bovin (SAXENA et RANJHAN, 1978) ; la synthèse de vitamine B_{12} a été stimulée par addition du Co lorsque les animaux consommaient un foin pauvre (TRESSOL et LAMAND, 1979).

Un apport en quantité excessive d'oligo-éléments peut inhiber les fermentations microbiennes *in vitro*. L'activité cellulolytique est particulièrement sensible car les cellulases sont extracellulaires donc plus susceptibles d'être inhibées que les enzymes intracellulaires (uréase par exemple) protégées par les parois. La croissance des protozoaires est plus affectée que celle des bactéries comme cela a été montré pour Cu, Zn et Co.

In vivo, la toxicité de ces éléments envers la digestion microbienne est mal connue. Elle dépend des nombreux facteurs qui affectent la solubilité des éléments dans le milieu du rumen mais aussi du potentiel d'adaptation de la microflore, phénomène connu pour les bactéries du sol. En général, la présence d'un oligo-élément en excès sélectionne les espèces ou souches bactériennes capables de lier l'élément sur leurs parois ou de produire des capsules glucidiques qui l'immobilisent. Les protozoaires apparaissent moins aptes à s'adapter car ils absorbent rapidement les éléments dans leur endoplasme comme cela a été montré pour Zn en micro-analyse aux rayons X par A. BONHOMME (CA 350).

Les recommandations des auteurs sur les concentrations en oligo-éléments dans l'aliment sont généralement en accord avec celles de LAMAND, (1978) ; en ce qui concerne Cu, un taux supérieur à 10 mg/kg risque en outre d'être toxique pour la micropopulation du rumen.

II. Absorption des oligo-éléments

Dans leur rapport BREMNER et DAVIES (R 409) émettent en premier lieu des restrictions sur la valeur des résultats obtenus dans ce domaine. Chez le Ruminant, l'efficacité de l'absorption des oligo-éléments est généralement faible, aussi les mesures d'absorption ou de rétention comportent-elles des

difficultés techniques : imprécision des méthodes de bilan classique ou de bilan par référence à un traceur non absorbable, difficulté de généraliser à des conditions normales d'alimentation les résultats obtenus avec des radioéléments ou avec la méthode de répétition (SUTTLE, 1975). De plus, les sécrétions d'oligo-éléments dans le tube digestif sont importantes, elles doivent donc être évaluées avec précision pour connaître l'absorption réelle des éléments contenus dans l'aliment.

Le contrôle de l'homéostasie des oligo-éléments s'effectue par une régulation de l'absorption et/ou de la sécrétion dans le tube digestif. En ce qui concerne Cu, le contrôle paraît plus efficace chez le monogastrique que chez l'ovin car celui-ci est plus sensible aux doses élevées de cet élément. La régulation de l'absorption de Zn semble par contre particulièrement nette ; l'absorption s'abaisse chez l'adulte comparativement au jeune et s'élève au moment de la lactation. L'augmentation de l'efficacité de l'absorption, suite à une déplétion en Zn, est très rapide chez la vache : elle peut s'élever de 21 à 51 p.100 en une semaine (KIRCHGESSNER *et al.,* 1978). La régulation de l'homéostasie de Mn se ferait au niveau de la sécrétion dans le tube digestif, essentiellement par l'intermédiaire des sels biliaires, mais aussi par passage direct dans l'intestin grêle.

Le passage de l'aliment dans le rumen réduit fortement la solubilité et la disponibilité des oligo-éléments (R 375 et R 409), notamment dans le cas de Cu. Ceci peut expliquer la plus faible efficacité d'absorption des oligo-éléments (en particulier de Mo) chez le ruminant comparativement au monogastrique, et aussi, en partie, la chute des coefficients d'absorption lors du passage du préruminant au ruminant : chez l'agneau, les auteurs citent des valeurs de 71 p.100 avant le sevrage et de seulement 10 p.100 quelques jours après ; chez le veau, des résultats sensiblement identiques sont observés.

Outre ces facteurs physiologiques, la nature et la composition du régime influencent considérablement l'absorption de certains oligo-éléments tels que Cu, Mo, Zn. Ainsi, des désordres physiologiques associés à des symptômes de carence en Cu sont souvent observés avec des pâturages ou régimes dont les taux de Cu apparaissent normaux. Des différences dans l'absorption de Cu entre différents fourrages, ou entre fourrages et aliments complets ou entre aliments de valeur nutritive différente (LAMAND, 1978) sont souvent signalées. La forme chimique de Cu dans l'aliment ou dans les contenus intestinaux semble conditionner son absorption. De même le type de régime : semi-synthétique ou naturel, la nature du fourrage, le traitement technologique de l'aliment, sont des facteurs susceptibles d'influencer l'absorption de Zn.

Les constituants inorganiques du régime sont souvent déterminants pour l'absorption et la disponibilité de Cu, Mo et Zn au niveau tissulaire.

La disponibilité de Cu est fortement influencée par une altération même faible des taux de soufre et de molybdène du régime (jusqu'à 4 g/kg pour S et 5 mg/kg pour Mo). L'absorption de Cu peut être réduite de 40 p.100 lorsque le taux de S passe de 1 à 4 g/kg. Cette chute a été parfois attribuée à une formation de sulfure de cuivre dans le rumen. L'effet dépressif de S est accentué en présence de Mo. Bien que le mécanisme des interactions Cu-Mo-S ait fait l'objet, récemment, de nombreuses études, il n'est pas encore bien connu. Plusieurs hypothèses sont émises :

- Mo favoriserait l'accumulation de S^{2-} dans le rumen en limitant son passage à travers la paroi, la formation de Cu S serait accrue ;
- les dérivés thiomolybdates formés dans ce réservoir (voir aussi R 375) inhiberaient l'absorption ultèrieure de Cu et en modifieraient le métabolisme tissulaire comme cela a été montré chez le rat avec MoS_4^{2-}.

Des contaminations par la terre, ou des taux de Zn du régime de 100 mg/kg ou plus, réduiraient aussi l'absorption de Cu chez le taurillon et les jeunes agneaux. Dans le cas d'un excès de Zn il pourrait s'agir d'une formation de métallothionéine au niveau intestinal, qui en liant Cu réduirait son passage dans le sang, mécanisme démontré chez le monogastrique.

La disponibilité de Mo est modifiée par le soufre. L'élévation de la teneur en S du régime diminue l'absorption et l'excrétion urinaire de Mo radioactif (MASON *et al.,* 1978). Les complexes S-Mo formés dans le rumen (dérivés thiomolybdate ?) absorbables lorsque Cu n'est pas en excès, ne seraient métabolisés que très lentement et mal excrétés au niveau urinaire.

La disponibilité de Zn serait réduite par des ingérés élevés de cadmium (60 à 380 mg Cd/kg), élément qui a de nombreuses propriétés chimiques analogues à Zn et qui jouerait un rôle antagoniste de Zn dans de nombreuses réactions biologiques. Des taux élevés de Ca alimentaire sembleraient aussi accroître les besoins en Zn des ruminants.

* * *

De l'ensemble des exposés, il ressort que les recherches approfondies effectuées ces dernières années sur certains aspects du métabolisme minéral (mécanismes de transport et d'absorption, endocrinologie, relations avec le métabolisme lipidique, bactériologie, etc...) ont permis dans de nombreux cas de proposer des solutions aux problèmes qui se posent dans la pratique. Cependant, des incertitudes subsistent encore. Elles concernent entre autres :

- les sites d'absorption (notamment pour Mg) ;
- les répercussions des déséquilibres alimentaires entre éléments minéraux ; (Ca-P, Mg-K, S-oligoéléments, oligo-éléments entre eux...) à la fois sur le métabolisme du rumen et sur l'utilisation des éléments par l'animal ;
- la connaissance des seuils critiques de besoin et de toxicité pour certains oligo-éléments (Cu, Co, Mo...) tant en ce qui concerne les microorganismes du rumen que l'animal-hôte.

Les recherches sur le métabolisme minéral devront donc à l'avenir être poursuivies et intensifiées.

Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 1981 (46) 73-79

SECTION VI

Quelques aspects du métabolisme intermédiaire chez les ruminants

M. VERMOREL

Laboratoire d'Etude du Métabolisme Energétique

Cette section du Symposium, qui comprenait 5 rapports très documentés, a permis de faire le point sur quelques aspects très importants du métabolisme des ruminants :

. les dépenses énergétiques liées à l'ingestion et à la digestion des aliments ;

. le métabolisme de l'acide propionique et le métabolisme de l'acide lactique ;

. le métabolisme des acides aminés ;

. la néoglucogénèse ;

. le métabolisme des lipides des tissus adipeux.

Pour ces 3 derniers points, les auteurs ont essayé de faire la part respective des facteurs d'ordre nutritionnel et de la régulation hormonale et de préciser les variations du métabolisme selon le stade physiologique des animaux.

Dépenses énergétiques liées à l'ingestion et à la digestion des aliments

A la suite des travaux de ARMSTRONG et BLAXTER (1957-1964), on a pensé que les variations des rendements d'utilisation de l'énergie métabolisable (EM) des aliments chez les ruminants pour l'entretien et surtout pour l'engraissement étaient dues aux différences d'utilisation métabolique des produits terminaux de la digestion, en particulier des acides gras volatils (acides acétique, propionique et butyrique). Cependant, les travaux de ORSKOV (1965) et de ORSKOV *et al* (1979) sur agneaux en croissance ont montré que les variations des proportions d'acides gras volatils ne rendaient compte que partiellement des larges différences de rendement de l'EM pour l'engraissement observées entre des rations courantes.

L'auteur de ce rapport (A.J.H. WEBSTER) a essayé de faire la part des diverses dépenses qui contribuent à l'augmentation de la production de chaleur (extra-chaleur) d'un ruminant lorsqu'il est alimenté pour satisfaire ses besoins d'entretien et d'engraissement : ingestion des aliments et rumination, fermentations dans le rumen et le gros intestin, activité métabolique des tissus du tube digestif, activité métabolique des autres tissus de l'organisme.

Les dépenses correspondant à **l'ingestion** dépendent d'une part de la durée des repas et d'autre part de la structure de l'aliment ; ainsi, elles peuvent varier du simple au double, par unité de temps, entre un fourrage aggloméré et un foin long. Les dépenses de **rumination** en revanche sont très faibles et ne représentent que 10 à 20 p.100 des dépenses d'ingestion. Rapportées à l'aliment, les dépenses d'ingestion et de rumination représentent 0,3 p.100 de l'EM dans le cas de l'orge agglomérée et de l'ordre de 4 p.100 de l'EM dans le cas du foin long (tabl. 1).

Les pertes d'énergie sous forme de **chaleur de fermentation**, qui contribuent à l'extra-chaleur de l'animal, représentent 6 à 8 p.100 de l'énergie des produits fermentés d'après les mesures réalisées *in vitro* ou *in vivo*, soit 8 p.100 de l'EM dans le cas des fourrages et 3,3 p.100 dans le cas de l'orge aggloméré (tabl. 1).

Les dépenses énergétiques correspondant au **fonctionnement du tube digestif** varient fortement au cours de la journée en fonction des repas. Elles augmentent avec les quantités d'aliment ingérées, mais représentent toujours chez le Mouton de l'ordre de 20 p.100 de la production totale de chaleur de l'animal. Dans cette dépense, la part du travail de brassage des aliments est faible vis-à-vis de l'activité sécrétoire et de l'activité métabolique propre des tissus du tube digestif ; on a pu montrer que la synthèse protéique (enzymes, cellules épithéliales,...) très intense peut constituer 40 p.100 de la dépense énergétique du tube digestif. A cet égard, les acides gras volatils (acides acétique et butyrique surtout) et les éléments fibreux de la ration entraînent un développement rapide de l'épithélium du rumen et de son activité métabolique qui contribuent à l'augmentation des dépenses de fonctionnement du tube digestif.

TABLEAU 1

Estimation des différentes dépenses énergétiques correspondant à l'utilisation des aliments par le Mouton
(en p.100 de l'énergie métabolisable)

	Foin haché		Herbe		Orge broygée agglomérée	
	Entretien	Engrais.	Entretien	Engrais.	Entretien	Engrais.
Ingestion	2,2	2,2	2,9	2,9	0,3	0,3
Rumination	0,5	0,5	1,0	1,0	-	-
Fermentations	8,2	8,2	8,2	8,2	3,3	3,3
Tractus digestif	3,2	15,6	3,2	15,6	3,2	15,6
Total partiel	14,1	26,5	15,3	27,7	6,8	19,2
Autres tissus	19,9	33,5	19,9	33,5	21,2	32,8
Extra-chaleur totale	34,0	60,0	35,2	61,2	28,0	52,0
Rendement (km ou kf)	66,0 %	40 %	64,8	38,8	72,0	48,0

En résumé, les dépenses correspondant à l'ingestion et à la digestion des aliments représentent dans le cas des fourrages (tabl. 1) environ 15 p.100 de l'EM pour l'entretien et 27 p.100 pour l'engraissement seul, c'est à dire dans les 2 cas 40 à 45 p.100 de l'extra-chaleur, donc presque autant que dans les autres tissus de l'organisme. Dans le cas de l'orge agglomérée, ces pourcentages sont beaucoup plus faibles (tabl. 1).

Métabolisme de l'acide propionique ; relations avec la vitamine B12

L'acide propionique formé au cours de la digestion microbienne des glucides dans les réservoirs des ruminants fournit de 13 à 21 p.100 de l'énergie des produits absorbés. Il constitue aussi la principale source de glucose pour les ruminants, en particulier pendant la lactation et la gestation où les besoins sont très élevés. Cependant, la carence en vitamine B12 limite l'utilisation de l'acide propionique dans l'organisme et entraîne des réductions des performances animales.

L'auteur de ce rapport (J.M. ELLIOT) analyse les étapes successives de l'utilisation de l'acide propionique dans l'organisme et les facteurs de variation, en particulier le rôle de la vitamine B12.

Au cours de l'absorption, une partie de l'acide propionique, variable et encore mal connue, est métabolisée **dans l'épithélium du rumen.** Elle est soit oxydée comme source d'énergie, soit transformée en lactate (5 à 10 p.100 du propionate). Il semble également que son métabolisme soit plus important chez les ovins que chez les bovins.

La majeure partie de l'acide propionique absorbé est captée et métabolisée **dans le foie.** L'activité du système enzymatique responsable qui se développe au sevrage, est beaucoup plus importante dans le foie que dans les autres tissus et augmente encore lors de la distribution de régimes riches en céréales. Une partie de l'acide propionique est transformée en glucose (néoglucogénèse) ; le reste est soit oxydé, soit incorporé dans des acides aminés, soit utilisé dans d'autres voies métaboliques pour épargner du glucose. L'utilisation de l'acide propionique pour la néoglucogénèse dépend d'une part des besoins de l'animal, d'autre part de la composition de la ration. Cependant, l'acide propionique est le principal précurseur du glucose chez le Ruminant ; il couvre ainsi plus de 60 % des besoins en glucose de la vache en lactation.

Une partie de l'acide propionique qui a échappé au foie est captée et métabolisée par les **autres tissus de l'organisme** (tissus adipeux, glande mammaire). Il participe à la synthèse d'acides gras à nombre impair d'atomes de carbone ou à chaîne ramifiée. La distribution de régimes riches en céréales conduit à des graisses molles (riches en acides gras ramifiés) chez les ovins et les caprins, mais pas chez les bovins et les cerfs.

La vitamine B12 intervient dans le métabolisme de l'acide propionique, pour la transformation du méthylmalonyl-Coenzyme A en succinyl-Coenzyme A (fig. 1). Ce dernier permet son entrée dans le cycle de Krebs ou dans la voie de la néoglucogénèse. Une carence sévère en vitamine B12 provoque chez le Mouton une accumulation d'acide propionique dans le plasma, une élimination urinaire d'acide propionique et d'acide méthylmalonique et une réduction de l'appétit. Chez les vaches alimentées *ad libitum,* elle entraîne une réduction de la production laitière en début de lactation.

Si l'apport alimentaire de cobalt est suffisant, la population microbienne synthétise des quantités importantes de vitamine B12 et de dérivés analogues qui sont absorbés au niveau de l'intestin grêle. La digestibilité vraie varie de 3 p.100 à plus de 20 p.100, ce qui est suffisant pour satisfaire les besoins de l'organisme. Cependant, les rations riches en céréales provoquent une déviation de la synthèse de vitamine B12 au profit de ses dérivés. Il semble exister également une compétition entre la vitamine et ses dérivés pour l'absorption et le transport dans le sang, qui conduit à des concentrations hépatiques de vitamine B12 trop faibles.

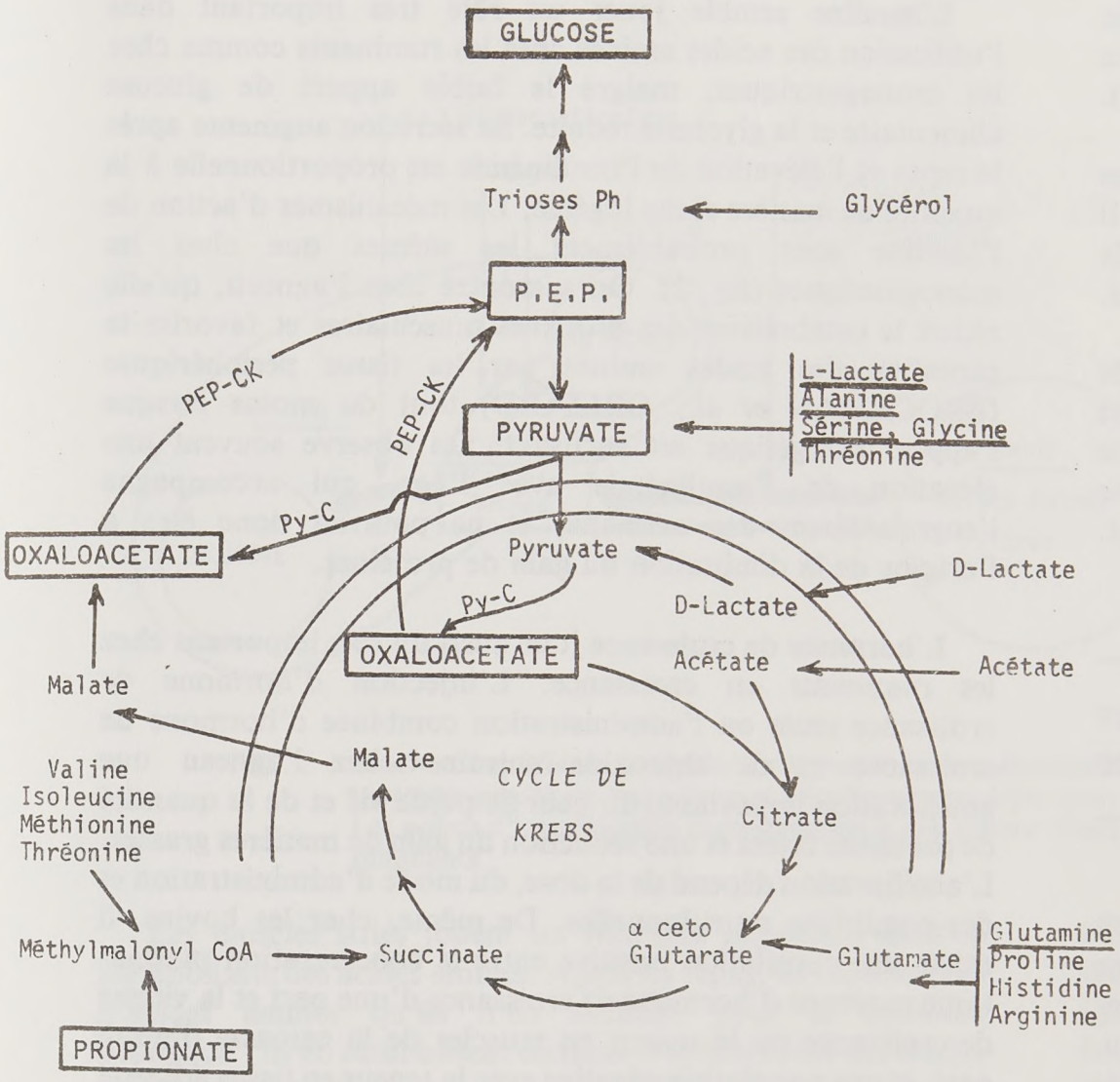


FIGURE 1

Schéma de la néoglucogenèse dans le foie du ruminant
Les composés les plus importants sont encadrés ou soulignés
PEP : phosphoénolpyruvate ;
PEP-CK : phosphoénolpyruvate carboxykinase, enzyme clé de la néoglucogénèse ;
Py-C : pyruvate carboxylase)
Le double trait symbolise la paroi de la mitochondrie.

On aboutit donc à une situation paradoxale dans laquelle les rations riches en céréales, qui nécessitent des quantités importantes de vitamine B12 pour le métabolisme de l'acide propionique, provoquent une réduction de sa synthèse, de son absorption et, par suite, de sa concentration hépatique. Ce domaine mériterait un effort de recherche, compte-tenu des problèmes de nutrition énergétique des ruminants en croissance intensive et des femelles forte productrices en début de lactation.

Métabolisme de l'acide lactique

L'acide lactique est un métabolite important chez tous les animaux et en particulier chez le foetus, chez le jeune et chez le Ruminant adulte qui reçoit certains ensilages ou des rations riches en glucides rapidement fermentescibles, responsables parfois d'acidoses digestives et de troubles métaboliques. Dans leur rapport, D. GIESECKE et M. STANGASSINGER font le point des connaissances sur les différentes sources alimentaires ou endogènes de lactate et les voies d'utilisation métabolique ou d'excrétion.

Dans l'organisme, le lactate se rencontre sous 2 formes isomériques : la forme L lorsqu'il est d'origine endogène, les formes D (45 p.100) et L (55 p.100) lorsqu'il est d'origine alimentaire. Les 2 formes suivent des voies métaboliques légèrement différentes.

Chez le jeune Ruminant, le lactate est le premier produit de fermentation du rumen (1 à 3 semaines après la naissance) et on le trouve normalement dans la caillette jusqu'à l'âge de 3 ou 4 mois. Chez l'adulte dont la flore n'est pas adaptée, les rations riches en glucides très solubles entraînent, sous l'action des bactéries lactiques et de certains protozoaires, une formation abondante et très rapide (en 15 à 20 minutes) d'acide lactique ; l'adaptation de la flore demande plusieurs semaines. Certains ensilages peuvent apporter plus d'un kg d'acide lactique par jour chez un bovin. Une partie de cet acide lactique peut échapper aux fermentations, qui normalement produisent des acides gras volatils, et être absorbée au niveau de l'intestin grêle. Ce dernier peut également être le siège de fermentations lactiques avec certains amidons ou des aliments liquides. Les mécanismes d'absorption sont encore mal connus, mais il ne semble pas y avoir de différence entre les formes D et L.

Le lactate endogène est produit environ pour moitié dans les muscles striés (rouges) au cours de la glycolyse anaérobie. Il s'en forme également dans l'épithélium intestinal et, chez le Ruminant, dans l'épithélium du rumen au cours de l'absorption de l'acide propionique. Le foetus utilise également du lactate (en quantité équivalant au tiers ou à la moitié du glucose) formé dans le placenta au cours de la glycolyse anaérobie.

Chez l'adulte, environ 20 p.100 du lactate est utilisé dans le foie pour la néoglucogénèse (soit 5 à 10 p.100 du glucose formé), 30 à 50 p.100 est oxydé en CO_2, une partie est convertie en glycérol. On a montré récemment *in vitro* que l'acide lactique pouvait être utilisé pour la synthèse des acides gras dans les tissus adipeux mais que cette voie est normalement inhibée par l'acétate. Pour des concentrations plasmatiques normales, la vitesse d'utilisation du D lactate est comparable à celle du L et l'élimination urinaire est négligeable. Pour des concentrations élevées, l'élimination urinaire devient importante, surtout pour la forme D.

Au niveau cellulaire, le L-lactate est transformé en pyruvate par une deshydrogénase située dans le cytoplasme ; en

revanche, le D lactate doit pénétrer dans la mitochondrie avant d'être transformé en pyruvate par une autre deshydrogénase, ce qui est susceptible de ralentir son métabolisme (fig. 1).

Le D lactate est beaucoup mieux utilisé par les muscles et les reins que par le foie et l'épithélium du rumen ou de l'intestin. Il semble également que sa vitesse d'utilisation diminue après le sevrage et lorsque l'âge avance et qu'elle varie selon les espèces.

On manque encore de données sur la formation, le transport, et le métabolisme du D et du L lactate selon les conditions alimentaires, mais on sait que c'est l'adaptation de la flore du rumen qui peut éviter les problèmes d'acidose digestive et les troubles métaboliques qui en découlent.

Régulation hormonale du métabolisme des acides aminés chez les ruminants en croissance

Les acides aminés présents dans l'organisme sont soit d'origine exogène (alimentation), soit d'origine endogène (catabolisme des protéines, synthèse d'acides aminés...). Chez les ruminants, l'apport d'acides aminés exogènes est continu, en raison des particularités de la digestion. Les acides aminés sont utilisés d'une part pour la synthèse des protéines nécessaires au maintien de l'homéostasie, à l'intégrité et au bon fonctionnement de l'organisme et à la croissance, et d'autre part pour la synthèse de glucose (néoglucogénèse), surtout chez les ruminants.

Les voies du métabolisme des acides aminés sont sous le contrôle endocrinien : insuline*, hormone de croissance et stéroïdes anabolisants pour la régulation de la synthèse protéique ; glucocorticoïdes et glucagon pour la régulation de la néoglucogénèse. Ces mécanismes ont été bien étudiés chez les animaux monogastriques mais sont encore peu connus chez les ruminants, tout du moins pour certaines hormones. Le rapport de A.H. TRENKLE tente de faire le point des connaissances en ce domaine.

Chez les bovins, la quantité de protéines fixées par jour est relativement constante jusqu'au poids de 400 ou 450 kg (180 g/j chez les taurillons frisons et 240 g/j chez les taurillons charolais), puis elle diminue. Seulement 30 à 35 p.100 des acides aminés absorbés sont déposés dans l'organisme ; déduction faite des besoins d'entretien, le rendement est de 60 à 65 p.100. Ces faibles coefficients de rétention azotée peuvent s'expliquer par le déséquilibre des acides aminés indispensables et par l'utilisation des acides aminés pour d'autres fonctions, en particulier la néoglucogénèse.

*Insuline et glucagon : hormones sécrétées par le pancréas.
Hormone de croissance : sécrétée par le lobe antérieur de l'hypophyse.
Glucocorticoïdes : hormones sécrétées par la zone corticale des glandes surrénales
Thyroxine : hormone sécrétée par la glande thyroïde.

L'insuline semble jouer un rôle très important dans l'utilisation des acides aminés chez les ruminants comme chez les monogastriques, malgré le faible apport de glucose alimentaire et la glycémie réduite. Sa sécrétion augmente après le repas et l'élévation de l'insulinémie est proportionnelle à la quantité de matière sèche ingérée. Les mécanismes d'action de l'insuline sont probablement les mêmes que chez les monogastriques (fig. 2). On a montré chez l'agneau, qu'elle réduit le catabolisme des protéines musculaires et favorise la captation des acides aminés par les tissus périphériques (BROCKMAN *et al.*, GRIZARD) tout du moins lorsque l'apport énergétique est suffisant. On observe souvent une élévation de l'insulinémie avec l'âge, qui accompagne l'engraissement des animaux, et ne pourrait donc être à l'origine de la diminution du gain de protéines.

L'hormone de croissance joue aussi un rôle important chez les ruminants en croissance. L'injection d'hormone de croissance seule ou l'administration combinée d'hormone de croissance et de thyroxine entraîne chez l'agneau une amélioration importante du gain de poids vif et de la quantité de protéines fixées et une réduction du gain de matières grasses. L'amélioration dépend de la dose, du mode d'administration et des conditions nutritionnelles. De même, chez les bovins, il existe une corrélation positive entre la concentration plasmatique moyenne d'hormone de croissance d'une part et la vitesse de croissance ou la teneur en muscles de la carcasse d'autre part, et une corrélation négative avec la teneur en tissus adipeux de la carcasse. Enfin, la sécrétion d'hormone de croissance, exprimée par kg de poids vif, ainsi que sa concentration plasmatique moyenne diminuent lorsque l'âge des bovins en croissance augmente.

Les glucocorticoïdes, en revanche, augmentent le catabolisme des protéines musculaires et favorisent l'utilisation des acides aminés pour la néoglucogénèse. Ce phénomène est confirmé par la corrélation négative qui existe chez les bovins entre la teneur en glucocorticoïdes du plasma et la croissance musculaire ou le gain de poids vif.

Le glucagon complète l'action des glucocorticoïdes et contrebalance celle de l'insuline. D'une part, il réduit l'utilisation des acides aminés dans l'intestin et les tissus périphériques et d'autre part, il favorise la captation des acides aminés glucoformateurs par le foie et leur utilisation pour la néoglucogénèse. Après le repas, la sécrétion d'insuline tend à réduire la glycémie et le glucagon permet ainsi de la maintenir à sa valeur normale. Pendant le jeûne, le glucagon permet aussi le maintien de la glycémie, les acides aminés, en particulier l'alanine et la glutamine, étant les principaux précurseurs du glucose, avec le lactate endogène et le glycérol provenant de la mobilisation des lipides corporels.

Chez le mouton à l'entretien, environ 30 p.100 du glucose métabolisé provient des acides aminés. De plus, la quantité de glucose provenant des acides aminés augmente avec le taux azoté de la ration et le niveau d'alimentation. On ne connait pas exactement l'action du glucagon et des glucocorticoïdes sur les voies métaboliques de la néoglucogénèse. Il semble que la formation d'oxaloacétate à partir du pyruvate soit accélérée, aux dépens de l'acétyl CoA, et que la transformation de l'oxaloacétate en phosphoénolpyruvate (étape clé de la néoglucogénèse) soit toujours très active chez les ruminants (fig. 1).

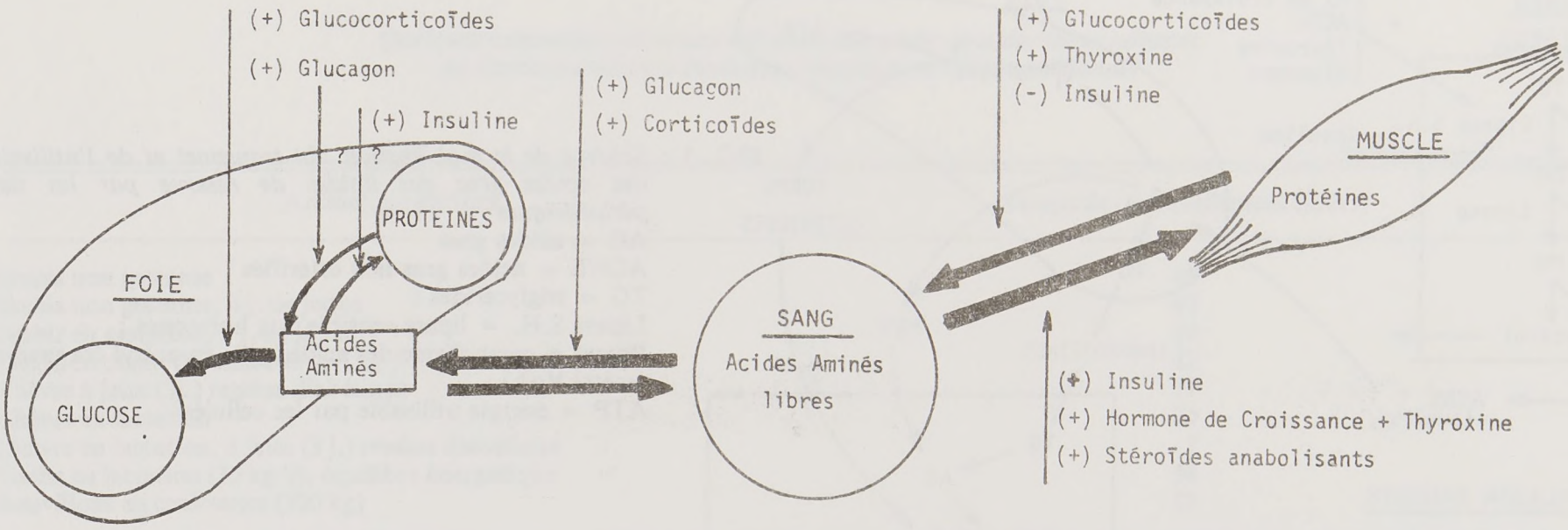


FIG. 2 : *Schéma simplifié de la régulation hormonale du métabolisme des acides aminés chez le ruminant en croissance, (synthèse protéique musculaire et néoglucogénèse hépatique)*
Les points d'interrogation correspondent à des actions démontrées chez les monogastriques et possibles chez les ruminants.

Les muscles striés jouent un rôle très important dans le métabolisme des acides aminés. Après les repas, ils captent plus d'acides aminés qu'ils n'en utilisent pour la synthèse protéique ; ils en catabolisent certains et synthétisent des acides aminés comme l'alanine et la glutamine ; mais pendant le jeûne, ils constituent une source d'acides aminés pour les autres tissus de l'organisme, en particulier pour le foie. On connaît bien maintenant le devenir des différents acides aminés dans les phases d'anabolisme et de catabolisme.

Enfin, chez les ruminants en production intensive (lactation, croissance rapide), l'augmentation des apports azotés favorise non seulement la synthèse protéique mais aussi la formation de glucose et permet ainsi une amélioration des performances.

Métabolisme lipidique dans les tissus adipeux

Les tissus adipeux sont très actifs chez les ruminants puisqu'ils sont le siège essentiel de la synthèse des acides gras et qu'ils constituent un stockage dynamique d'énergie, à travers lequel passe 10 à 80 p.100 du flux quotidien d'énergie. Les lipides des tissus adipeux sont donc l'objet de synthèses, de dépôts et de mobilisations permanents mais d'intensité variable. Le rapport de R.S. EMERY tente de préciser la nature et l'importance de ces renouvellements selon le stade physiologique de l'animal et l'état de satisfaction de ses besoins.

Les tissus adipeux se développent d'abord par hyperplasie (augmentation du nombre de cellules adipeuses ou adipocytes) puis par une combinaison d'hyperplasie et d'hypertrophie et enfin uniquement par hypertrophie (grandissement de la vacuole lipidique). En raison de difficultés techniques, on ne connaît pas encore suffisamment l'évolution des tissus adipeux au cours de la vie de l'animal, par exemple, chez la femelle laitière. On sait cependant que les divers tissus adipeux de l'organisme se développent à des vitesses différentes ; le tissu adipeux intramusculaire (le plus intéressant pour le consommateur) se développe malheureusement le moins vite. Il existe également des différences selon le génotype et le sexe (les femelles étant plus précoces que les mâles castrés et plus encore que les mâles entiers).

Les acides gras sont synthétisés à partir de l'acétate en quasi totalité (95 p.100 environ) dans les tissus adipeux, sauf pendant la lactation où la glande mammaire synthétise environ 40 p.100 des acides gras du lait. Cette synthèse est limitée chez le préruminant qui reçoit un aliment riche en lipides. Chez le Ruminant en croissance, elle augmente avec le niveau d'alimentation, mais se produit même lorsque l'animal maigrit. L'intensité de synthèse des acides gras augmente avec la taille des adipocytes puis diminue lorsqu'ils ont atteint leur taille maximale. Elle est beaucoup plus élevée dans le tissu adipeux sous-cutané que dans le tissu périrénal et surtout que dans le tissu adipeux intramusculaire.

Les acides gras synthétisés sont estérifiés et **stockés** en grande partie sous forme de triglycérides dans les vacuoles lipidiques des adipocytes. Les échanges d'acides gras entre tissus sont très importants, de sorte que le développement d'un tissu adipeux ne traduit pas forcément l'intensité de synthèse des acides gras dans ce tissu.

Les triglycérides stockés peuvent, en effet, être hydrolysés par une lipase (dont l'activité est contrôlée par plusieurs hormones) puis par d'autres lipases. Les acides gras ainsi libérés peuvent être réestérifiés sur place ou transportés par le sang vers d'autres tissus ou organes : c'est le phénomène de **mobilisation.** (fig. 3)

Au cours du **transport,** les acides gras non estérifiés sont liés aux albumines. Leur captation par les tissus est proportionnelle à leur concentration plasmatique. Dans la plupart des tissus, ils peuvent être utilisés comme source d'énergie. Cependant, dans le foie, ces acides gras sont réestérifiés en triglycérides, phospholipides et esters de cholestérol, puis combinés à une apolipoprotéine pour former des lipoprotéines qui seront ensuite transportées dans le sang vers tous les tissus. Les acides gras d'origine alimentaire sont également estérifiés au cours de

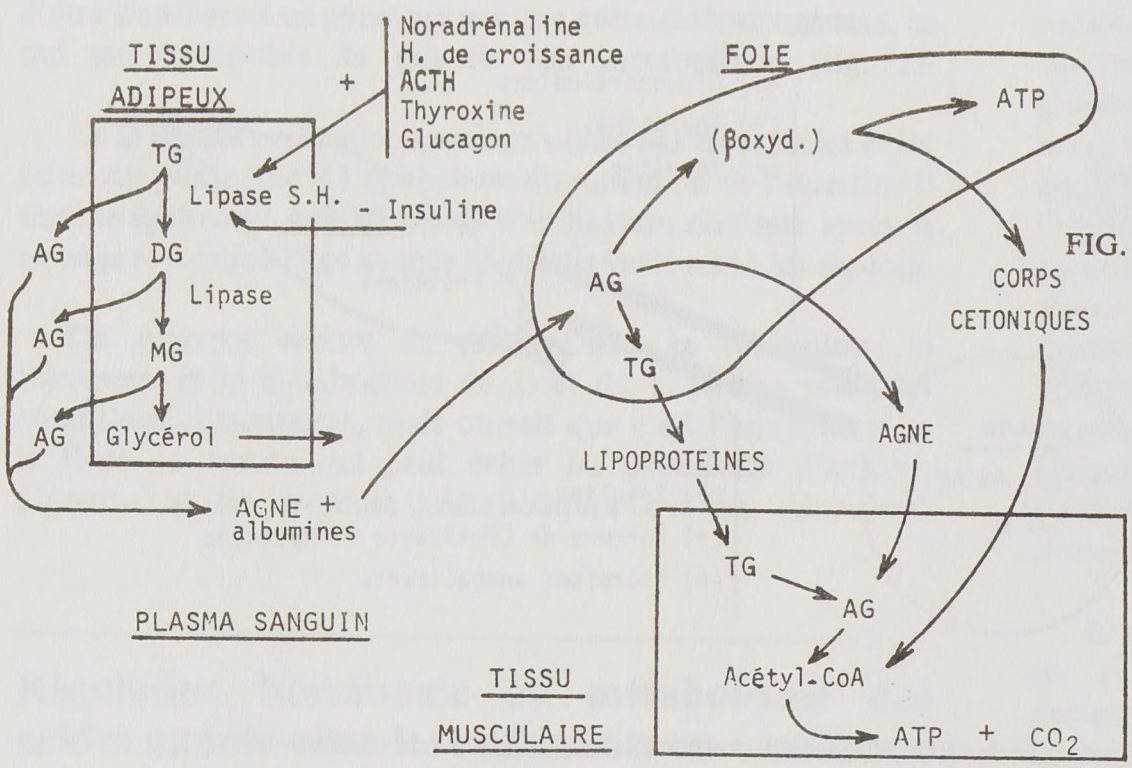


FIG. 3 : *Schéma de la mobilisation, du transport et de l'utilisation des acides gras des lipides de réserve par les tissus périphériques*
AG = acides gras
AGNE = acides gras non estérifiés ;
TG = triglycérides ;
Lipase S.H. = lipase sensible aux hormones ;
Boxyd = catabolisme des acides gras en acétyl coenzyme A (acétyl VoA) ;
ATP = énergie utilisable par les cellules.

l'absorption intestinale et transportés dans la lymphe puis dans le sang sous forme de lipoprotéines(*).

Dans les différents tissus, en particulier les tissus adipeux et la glande mammaire, les triglycérides des lipoprotéines sont hydrolysés par une lipoprotéine lipase localisée dans l'épithélium interne des capillaires sanguins. La formation et le mode d'action de cette enzyme sont maintenant bien connus. Le flux d'acides gras vers les tissus dépend de la concentration d'acides gras et de l'activité de la lipoprotéine lipase.

Les phénomènes de synthèse, de dépôt et de mobilisation des lipides dans les tissus adipeux sont contrôlés à la fois par l'état nutritionnel de l'animal et par les hormones. Ainsi, l'activité de la lipoprotéine lipase qui commande **le dépôt des acides gras** des lipoprotéines dans les tissus adipeux diminue chez la chèvre après la mise bas, lorsque la femelle est en déficit énergétique, malgré l'augmentation des quantités d'aliments ingérées (CHILLIARD *et al,* 1977). Par ailleurs, **l'insuline** augmente l'activité de la lipoprotéine lipase des tissus adipeux, tandis que l'**adrénaline** et la **noradrénaline** l'inhibent. La **prolactine** en revanche provoque sa formation dans la glande mammaire.

La **mobilisation** des acides gras semble limitée par l'augmentation des concentrations d'acides gras et de corps cétoniques plasmatiques. Par ailleurs, l'**hormone de croissance** et l'**adrénaline** augmentent l'activité de la lipase ''sensible aux hormones'', tandis que l'**insuline** la réduit fortement (fig. 3). L'action lipolytique de l'hormone de croissance a été confirmée par les travaux récents de HART *et al* (1978) sur des vaches fortes ou faibles productrices et ceux de VEZINHET *et al* (1974) chez l'Agneau.

Chez les femelles fortes productrices, le déficit énergétique du début de lactation provoque une mobilisation importante et parfois excessive d'acides gras qui souvent ne sont pas catabolisés en totalité, par suite du manque fréquent de glucose. Ces acides gras s'accumulent dans le foie en raison d'un défaut de synthèse des phospholipides, de l'apolipoprotéine ou des lipoprotéines indispensables pour le transport de ces acides gras vers les autres tissus, en particulier la glande mammaire. Cet engorgement du foie (stéatose hépatique) provoque une chute d'appétit et de production laitière et peut entraîner la mort de l'animal.

Le **renouvellement** des lipides des tissus adipeux a été mis en évidence chez toutes les catégories de ruminants mais on en connaît encore mal le contrôle et l'importance selon le stade physiologique ou l'état nutritionnel de l'animal. En effet, il n'y a pas eu de mesure directe du renouvellement des lipides dans l'ensemble des tissus adipeux à l'aide d'éléments radioactifs (^{14}C ou ^{3}H). TRENKLE a essayé d'estimer le temps moyen de renouvellement des lipides à partir des résultats partiels obtenus par différentes méthodes. Bien qu'imprécises, ces données ont le mérite de mettre en évidence les variations importantes du renouvellement des lipides chez le Ruminant (tabl. 2).

Le renouvellement des acides gras est beaucoup plus rapide chez la femelle en lactation que chez la femelle tarie ou chez le jeune en croissance. Chez une vache en équilibre énergétique produisant 30 kg de lait par jour, l'énergie provenant des tissus adipeux correspond environ à 1/3 de l'énergie métabolisable de la ration, selon les estimations de BALDWIN *et al* (1976), et le renouvellement des lipides augmente encore lorsque la vache est en bilan négatif. Le renouvellement des lipides semble également varier selon les tissus adipeux puisque chez l'animal à jeûn les lipides des dépôts adipeux abdominaux sont mobilisés beaucoup plus vite que les autres.

Les acides gras constituent une source d'énergie importante pour la plupart des tissus de l'organisme (sauf le tissu nerveux). Ils sont catabolisés en acétyl CoA qui est oxydé dans le cycle de Krebs ou libéré sous forme d'acétate. Lorsque le déficit énergétique de l'organisme augmente (jeûne, début de lactation), le foie dégrade les acides gras en acétate et en corps cétoniques qui sont utilisés très efficacement par les autres tissus, en particulier les muscles et la glande mammaire. Chez le Mouton, les acides gras fournissent 58 p.100 de l'énergie utilisée par les muscles pendant l'exercice physique, contre 22 p.100 au repos. Ils n'en fournissent que 17 p.100 chez le mouton à jeûn, au repos, en raison de l'oxydation importante des corps cétoniques formés dans le foie.

Ces données récentes présentent sous un jour nouveau le rôle des tissus adipeux dans le métabolisme énergétique de

(*) Cf : article de D. BAUCHART, Bull. Tech. CRZV. Theix, I.N.R.A., 1981 (46), p. 45-55

TABLEAU 2

Quelques estimations du renouvellement des acides gras des tissus adipeux du Ruminant selon le stade physiologique ou l'état nutritionnel

Animal, conditions	Temps de renouvellement (jours)
Brebis non gestante	88
Brebis non gestante, 4 j. de jeûne	44
Brebis en gestation, 4 j. de jeûne	24
Brebis en début de lactation (1-15 j.)	22
Chèvre à jeun (3j.) rendue diabétique	27
Chèvre en lactation	20
Chèvre en lactation, à jeûn (3 j.) rendue diabétique	7
Vache en lactation (30 kg/j), équilibre énergétique	34
Bouvillons en croissance (300 kg)	52

l'animal. Le renouvellement des lipides, quoique très mal connu encore, pourrait au même titre que le renouvellement des protéines, contribuer aux dépenses énergétiques des animaux en croissance. Elles se traduisent par des besoins d'entretien élevés et des rendements faibles d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la croissance. Ces hypothèses ouvrent un domaine de recherche large et délicat.

Articles techniques parus en 1980

J. ANDRIEU, C. BERANGER, J. BOUCHET, C. DEMARQUILLY, J.P. DULPHY, L. GUEGUEN, A. HODEN, R. JARRIGE, M. JOURNET, C. MALTERRE, D. MICOL, J.L. TROCCON, D. SAUVANT, M. CADOT, P. GIRARD, N. GRENET, B. CHATELET, F. HAMMER, J.P. TOUZE, 1980. *Pratique de l'alimentation des bovins.* Tome 1. Vaches laitières. I.N.R.A. - I.T.E.B. - E.D.E. Ed. Technipel Paris.

C. BERANGER, J. BOUCHET, C. DEMARQUILLY, Y. GEAY, L. GUEGUEN, R. JARRIGE, C. MALTERRE, D. MICOL, M. PETIT, J. ROBELIN, M. CADOT, F. RAYMOND, N. GRENET, J. BASSET, G. HERR, J.P. LE STANG, G. MERIEAU, M. PIERRARD, 1980. *Pratique de l'alimentation des bovins.* Tome 2. Bovins en croissance et à l'engrais, vaches allaitantes.

Y. CHILLIARD, 1980. *Le système lipolytique du lait, nature, propriétés* (Centre de formation permanente et de perfectionnement des cadres des industries du lait. C.E.P.I.L. - I.N.A. Paris Grignon).

M. CONTREPOIS, H.C. DUBOURGUIER, J.P. GIRARDEAU, Ph. GOUET, 1980. Méthodes de diagnostic des infections à *E. Coli* entéropathogènes chez le veau et données épidémiologiques. *Bull. G.T.V.,* 90-4 bis B-187, 25-35.

M. CONTREPOIS, H.C. DUBOURGUIER, O. MANDARD, H. NAVETAT, Ph. GOUET, R. SCHERRER, 1980. Données épizootiologiques recueillies dans l'Allier. *Bull. G.T.V.,* 80-4 bis B-190, 47-59.

J. DEJOU, F.X. de MONTARD, M. LAMAND et J. BELLANGER, 1980. Déficiences en cuivre et en zinc observées en zones volcaniques de l'Auvergne : possibilités d'amélioration de la qualité des foins par apport au sol de ces deux oligoéléments. *Fourrages,* n° 84, 69-85.

C. DEMARQUILLY, 1980. ''Utilisation des pulpes déshydratées'' in l'*Utilisation des matières premières à cellulose facilement digestible par les animaux.* Journée CAAA du 29 février 1980, Ed. INA Paris-Grignon, p. 103-119.

C. DEMARQUILLY, 1980. ''Stades de récolte et valeur alimentaire''. Dossier ensilage. *Cultivar,* avril 1980, n° 127, p. 7 et 8.

C. DEMARQUILLY, 1980. ''Conservation des fourrages par ensilage''. *Phytoma,* n° 315 - Février 1980, p. 22-25.

C. DEMARQUILLY; 1980. ''Composition chimique, qualité de conservation et valeur nutritive des ensilages''. *Pâtre,* numéro spécial ensilage.

C. DEMARQUILLY, 1980. ''Utilisation des conservateurs''. *SITMA,* n° 4-5 juillet 1980, p. 47-51.

M. DOREAU, M. CHENOST, M. VIVIER, A. GRUDE, 1980. Engraissement de taurillons FFPN en Guadeloupe. Utilisation comparée d'aliments à base de son et de céréales. *Rév. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.,* **33** (1) 65-70.

H.C. DUBOURGUIER, M. CONTREPOIS, Ph. GOUET, 1980. Antibiorésistances des *Eschrichia coli* isolés de veaux sains et diarrhéiques. *Bull. G.T.V.* 80-4 bis B-192, 61-69.

J. DURLACH, Y. RAYSSIGUIER, 1980. Données nouvelles sur le magnésium et l'alcoolisme chronique. *Revue de l'alcoolisme,* **16,** 1-26.

J. DURLACH, Y. RAYSSIGUIER, 1980. Des besoins en magnésium et son apport dans la ration. *Médecine et Nutrition,* **16,** 15-21.

M. LAMAND, 1980. *Les carences minérales chez la chèvre.* Conférence du 7.10.80, séminaire G.T.V. - I.N.R.A. Tours, 41-47.

M. LAROCHE, 1980. Pertes de poids à la cuisson, nature et mécanisme. *Viandes et Produits carnés,* **1** (1), 26-28.

J. MARZIN, A. BRELURUT, M. PRUD'HON, J. ANGEVAIN, G. REBOUL, 1980. Les performances des F. Romanov comparées à d'autres types génétiques. *Pâtre* n° 275, juin-juillet 1980, pages 23-27.

B. MICHALET-DOREAU, C. DEMARQUILLY, 1980. ''Utilisation des pellicules de soja'' in l'*Utilisation des matières premières à cellulose facilement digestible par les animaux.* Journée CAAA du 29 février 1980, Ed. INA Paris-Grignon, p. 120-128.

B. MICHALET-DOREAU, C. DEMARQUILLY, 1980. ''Conservateurs'' Dossier ensilage. *Cultivar,* avril 1980, n° 127, p. 18 à 21.

B. MICHALET-DOREAU, C. DEMARQUILLY, 1980. ''Les conservateurs d'ensilage : leurs rôles, leur intérêt''. L'*Elevage Bovin-Ovin-Caprin,* avril 1980, n° 94, p.35-37.

G. MOLENAT, 1980. Parcours méditerranéens et moutons. De l'utopie avec réalités techniques. L'*Elevage,* n° 97, juillet 1980, p. 35-39.

H. NAVETAT, M. CONTREPOIS, H.C. DUBOURGUIER, J.P. GIRARDEAU, J.G. GOBY, Ph. GOUET, 1980. Essais de vaccinations anticolibacillaires. Résultats au Laboratoire et sur le terrain. *Bull. G.T.V.,* 80-4 bis B-195, 85-93.

J. ROBELIN, C. BERANGER, 1980. Spécificités des races bovines bouchères en matière de carcasse. *Bulletin de l'Elevage Français.* A.D.E.T.E.P.

P. THIVEND, 1980. Limites d'utilisation de l'amidon dans les aliments d'allaitement. *Les industries de l'alimentation animale,* **328**, 13-18.

C. TOURAILLE, 1980. La dégustation de la viande et des produits carnés. Première partie. *Viande et Produits Carnés,* **1** (6), 12-17.

C. VALIN, X. VIGNERON, 1980. La stimulation électrique des carcasses : un ''plus'' technologique pour l'industrie de la viande. *Génie Rural,* **10**, 25-29.

C. VALIN et A. LACOURT, 1980. Etude comparée de différents modes de conditionnement des viandes bovines hachées et réfrigérées. *Industries Agricoles et Alimentaires,* n° 3, 123-129.

Yseult VILLETTE, 1980. Mortalité avant sevrage dans les troupeaux ovins en conduite intensive. *France Agricole,* n° 1850, p. 27-29.

Les reproductions partielles ou complètes d'articles extraits de ce bulletin doivent être référencées avec précision. Les indications de référence figurent au haut de la première page de chaque article.

I.N.R.A. - Publications
C.N.R.A.
Route de St-Cyr
78000 VERSAILLES
Dépôt légal : 4e trimestre 1981
N° C.P.P.A.P. : 573 ADEP

Directeurs de la Publication
C. MALTERRE et A. HODEN

M. LAROCHE, 1980. Pertes de poids à la cuisson, nature et mécanisme. *Viandes et Produits carnés,* **1** (1), 26-28.

J. MARZIN, A. BRELURUT, M. PRUD'HON, J. ANGEVAIN, G. REBOUL, 1980. Les performances des F. Romanov comparées à d'autres types génétiques. *Pâtre* n° 275, juin-juillet 1980, pages 23-27.

B. MICHALET-DOREAU, C. DEMARQUILLY, 1980. ''Utilisation des pellicules de soja'' in l'*Utilisation des matières premières à cellulose facilement digestible par les animaux.* Journée CAAA du 29 février 1980, Ed. INA Paris-Grignon, p. 120-128.

B. MICHALET-DOREAU, C. DEMARQUILLY, 1980. ''Conservateurs'' Dossier ensilage. *Cultivar,* avril 1980, n° 127, p. 18 à 21.

B. MICHALET-DOREAU, C. DEMARQUILLY, 1980. ''Les conservateurs d'ensilage : leurs rôles, leur intérêt''. L'*Elevage Bovin-Ovin-Caprin,* avril 1980, n° 94, p.35-37.

G. MOLENAT, 1980. Parcours méditerranéens et moutons. De l'utopie avec réalités techniques. L'*Elevage,* n° 97, juillet 1980, p. 35-39.

H. NAVETAT, M. CONTREPOIS, H.C. DUBOURGUIER, J.P. GIRARDEAU, J.G. GOBY, Ph. GOUET, 1980. Essais de vaccinations anticolibacillaires. Résultats au Laboratoire et sur le terrain. *Bull. G.T.V.,* 80-4 bis B-195, 85-93.

J. ROBELIN, C. BERANGER, 1980. Spécificités des races bovines bouchères en matière de carcasse. *Bulletin de l'Elevage Français.* A.D.E.T.E.P.

P. THIVEND, 1980. Limites d'utilisation de l'amidon dans les aliments d'allaitement. *Les industries de l'alimentation animale,* **328,** 13-18.

C. TOURAILLE, 1980. La dégustation de la viande et des produits carnés. Première partie. *Viande et Produits Carnés,* **1** (6), 12-17.

C. VALIN, X. VIGNERON, 1980. La stimulation électrique des carcasses : un ''plus'' technologique pour l'industrie de la viande. *Génie Rural,* **10,** 25-29.

C. VALIN et A. LACOURT, 1980. Etude comparée de différents modes de conditionnement des viandes bovines hachées et réfrigérées. *Industries Agricoles et Alimentaires,* n° 3, 123-129.

Yseult VILLETTE, 1980. Mortalité avant sevrage dans les troupeaux ovins en conduite intensive. *France Agricole,* n° 1850, p. 27-29.

Les reproductions partielles ou complètes d'articles extraits de ce bulletin doivent être référencées avec précision. Les indications de référence figurent au haut de la première page de chaque article.

I.N.R.A. - Publications
C.N.R.A.
Route de St-Cyr
78000 VERSAILLES
Dépôt légal : 4e trimestre 1981
N° C.P.P.A.P. : 573 ADEP

Directeurs de la Publication
C. MALTERRE et A. HODEN